

ÉTUDE DES RELATIONS SOL-VÉGÉTATION
EN CONDITIONS D'HYDROMORPHIE
DANS UNE FORÊT DE LA PLAINE LORRAINE

M. BECKER

*Laboratoire de Botanique forestière,
Centre national de Recherches forestières, I.N.R.A.,
54 - Nancy*

1971



Digitized by the Internet Archive
in 2026



ÉTUDE DES RELATIONS SOL-VÉGÉTATION EN CONDITIONS D'HYDROMORPHIE DANS UNE FORÊT DE LA PLAINE LORRAINE (1)

M. BECKER

Laboratoire de Botanique forestière,
Centre national de Recherches forestières, I.N.R.A.,
54 - Nancy

RÉSUMÉ

Le but essentiel du présent travail est l'étude des relations sol-végétation en milieu hydromorphe. Contrairement à la plupart des travaux similaires, qui sont des études *statiques*, nous nous sommes particulièrement attachés à l'aspect *dynamique* de la question, c'est-à-dire à l'évolution conjointe du sol et de la végétation sous l'influence de la dégradation d'origine humaine.

L'étude a été menée dans cinq types de stations diversement dégradées (forêt feuillue), et caractérisées par les cinq espèces herbacées qui marquent le plus le sous-bois : *Molinia coerulea*, *Carex brizoides*, *Deschampsia coespitosa*, *Luzula albida*, *Poa chaixi*.

Le régime hydrique des sols correspondants a été particulièrement étudié : nappes perchées et *pF*. Puis, ont été analysés les divers facteurs écologiques pouvant induire les différences observées.

Le problème des pseudogleys « fonctionnels » ou « non fonctionnels », sur fragipans, est largement débattu, et en particulier la question de la pédogénèse « actuelle » des horizons superficiels.

Un certain nombre de mesures et d'observations plus strictement sylvicoles ont été effectuées. Les applications à la sylviculture de l'ensemble des résultats obtenus sont évoquées.

I. — INTRODUCTION

Le principe de l'étude écologique approfondie, voire de la cartographie détaillée, de certaines surfaces restreintes — celle d'un massif forestier par exemple — présente un grand intérêt. S'ils ont été bien choisis, ces massifs peuvent servir de « forêts-pilotes », de supports à des études d'« écosystèmes » plus ou moins fouillées.

Les conditions macroclimatiques y sont pratiquement constantes, et la végétation dépend alors essentiellement, d'une part de la nature et des propriétés du substrat, d'autre part des interventions humaines au cours des âges.

(1) Cet article constitue l'article principal d'une thèse de Doctorat d'État (Sciences naturelles), présentée en 1971 à l'Université de Nancy I, et qui porte le n° A.O. 6214 à l'enregistrement du Centre national de la Recherche scientifique.

L'intérêt de telles études écologiques détaillées apparaît double à un premier point de vue : *scientifique* et *pratique*. Outre leur apport de résultats d'ordre fondamental, elles fournissent en effet au forestier les bases indispensables à une meilleure gestion, voire des réponses objectives à certains problèmes précis qui se posent à lui.

Mais, d'autre part, leur intérêt est également double sous un autre angle : *statique* et *dynamique*.

Sur le plan *statique*, elles permettent d'apporter des précisions sur l'écologie des arbres et des espèces herbacées qui caractérisent les stations étudiées. Une fois leur valeur « indicatrice » mise en évidence, certaines espèces — ou groupes d'espèces — peuvent ensuite servir à une synthèse écologique rapide dans des forêts de type analogue. Cet aspect est évidemment de première importance pour le sylviculteur.

Sur le plan *dynamique*, de telles études peuvent permettre de mettre en évidence l'influence humaine sur les équilibres sol-végétation. A partir de formations climaciques, la forêt a parfois connu une succession de « dégradations » (évolution régressive) et de « regradations » (évolution progressive). Parallèlement, du fait de la modification de la composition floristique d'une part, et de celle du microclimat lié à la végétation d'autre part, les sols ont subi un certain nombre de modifications plus ou moins profondes, qui peuvent à leur tour influencer sur cette végétation. Il apparaît du plus haut intérêt d'analyser la façon dont ces deux processus d'évolution sont liés.

C'est ainsi que, dans certains secteurs où affleurent des sables et des grès quartzeux, ont pu être étudiés les mécanismes de la podzolisation (DUCHAUFOUR, 1948). L'auteur a démontré que celle-ci était souvent le résultat d'une dégradation de la végétation par l'Homme, dans un milieu acide et filtrant, avec apparition d'espèces sociales et modification de l'humus.

Mais les processus de la dégradation des sols et de la végétation sous l'influence du facteur « hydromorphie », dans les milieux mal drainés, n'ont pas encore été suffisamment élucidés (premières approches de PLAISANCE, 1965). L'influence du peuplement forestier et du mode de traitement sur ces mécanismes a même été niée par certains auteurs. C'est cette évolution parallèle de la végétation et du sol, en milieu mal drainé, que nous nous proposons donc d'étudier.

Nous avons choisi à cette fin une forêt caractéristique, la forêt communale de Charmes (Vosges). Elle présente en effet l'avantage de porter des peuplements qui se situent à différents stades de dégradation, par hydromorphie croissante; étant donné que, de façon générale, on ignore les divers états antérieurs d'une station étudiée, ceci permet de reconstituer *dans l'espace* les stades successifs de l'évolution, que l'on suppose avoir eu lieu *dans le temps*.

Une fois éclaircis les mécanismes de la dégradation dans ce type de milieu, nous serons mieux à même de savoir dans quelle mesure, et par quels moyens, ces processus régressifs peuvent être freinés, voire stoppés. Nous pourrions même imaginer la façon dont ont pu s'opérer naturellement, dans le passé, de probables phases de « regradation ». Outre son intérêt scientifique indéniable, la réponse à cette question est d'une importance pratique considérable, car elle permettrait de concevoir des interventions sylvicoles aptes à favoriser et à accélérer l'évolution progressive; le forestier est en effet, à l'heure actuelle encore, fort démuné devant le difficile problème de la mise en valeur des stations sur sols à pseudogley.

Nous avons conçu la marche d'approche de notre travail en deux étapes complémentaires : un inventaire phyto-écologique général, suivi d'observations et d'expérimentations stationnelles détaillées.

L'inventaire phyto-écologique est une étude relativement légère et rapide qui doit permettre de reconnaître les divers types de stations existant dans le massif prospecté, leur localisation et leur importance relative en surface. Elle comporte une analyse floristique complète, accompagnée d'une première approche d'étude des principaux éléments du milieu (lumière, topographie, substrat, observations pédologiques simples...). Les résultats de cette première phase aident à mieux guider la conception de la phase suivante, plus approfondie sur le plan écologique, en facilitant le choix des stations et des variables à étudier, ce qui est primordial.

Les résultats de l'inventaire phyto-écologique ont déjà fait l'objet d'une précédente publication (AUSSENAC, BECKER, 1968). Il a montré l'existence de deux types de forêt extrêmement dissemblables : l'une correspondant aux argiles vertes du Muschelkalk, caractérisée par des pélosols-pseudogleys, et l'autre — plus importante — correspondant à des « Alluvions » à couverture limono-argileuse et acide, sur lesquelles se sont essentiellement développés des sols que nous avons d'abord rassemblés sous le terme global de « sols lessivés à pseudogley ». C'est dans cette partie, où la dégradation des peuplements est très inégale, que nous avons installé les placettes d'étude détaillée de notre seconde phase.

À l'origine de l'inventaire, nous avons essentiellement misé sur la profondeur d'apparition de l'horizon Bg, plancher supposé des nappes perchées temporaires, pour traduire le degré d'hydromorphie des stations. En fait, dans les vastes secteurs de plateau que comporte la forêt, cette profondeur s'est avérée très uniforme (25-30 cm) et la corrélation avec la végétation d'une médiocrité décevante.

C'est alors que nous avons mis en doute le caractère réellement « fonctionnel » de bon nombre des horizons Bg observés. Ceux-ci présentaient d'ailleurs, en profondeur, des caractères, soit d'horizons glossiques, soit de fragipans, formations anciennes dont les propriétés actuelles n'avaient peut-être plus de rapports avec la physionomie, relique d'une pédogénèse passée.

C'est par la vérification de cette hypothèse — importante — que nous avons résolu de commencer la seconde phase de l'étude, objet essentiel du présent article.

Celle-ci a été menée dans cinq types de stations (six placettes par type en moyenne), choisies en fonction, d'une part de l'état de dégradation du peuplement, d'autre part de l'importance particulière qu'y prennent les cinq espèces herbacées qui marquent le plus la physionomie floristique du sous-bois : *Molina caerulea*, *Carex brizoides*, *Deschampsia caespitosa*, *Luzula albida*, *Poa chaixi* (voir la composition floristique détaillée dans le tableau 1).

II. — ÉTUDE DU RÉGIME HYDRIQUE DES SOLS

2.1. — Étude des nappes perchées temporaires

La profondeur d'apparition de la nappe d'eau perchée dans le sol, et sa fluctuation au long des saisons humides, ont été régulièrement mesurées (toutes les semaines) à l'aide de tubes piézométriques installés dans chaque station. Toutes les précautions ont été prises pour que les mesures effectuées correspondent réellement au niveau de la nappe dans le sol (en particulier, vidange des tubes après chaque lecture).

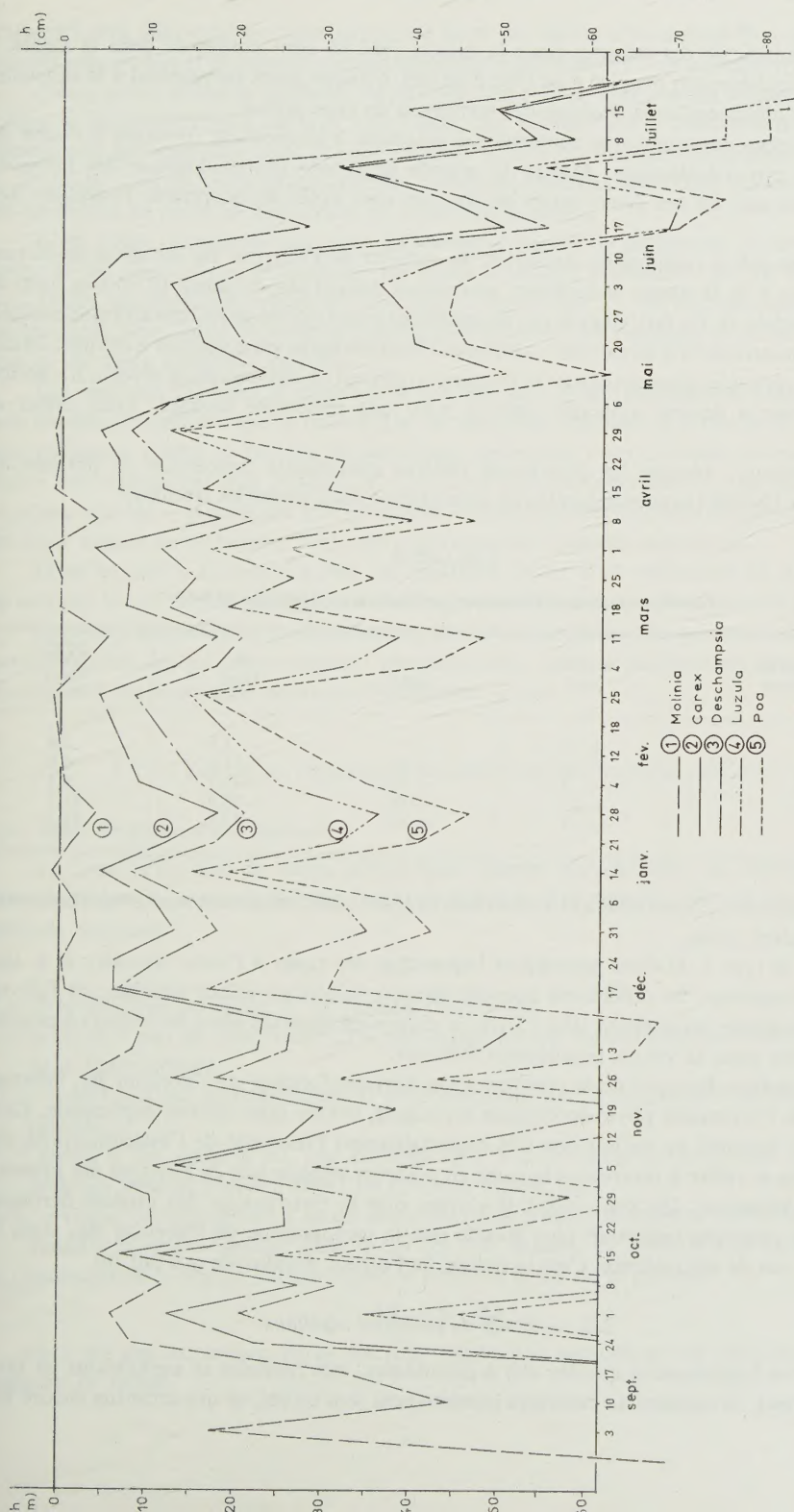


FIG. 1. — Fluctuation des nappes dans les diverses stations

FIG. 1. — Water table fluctuations in the different kinds of stands

Les résultats de ces mesures pour la saison 1968-69 sont consignés dans la figure 1 (saison particulièrement propice à ce type d'étude). Chaque point correspond à la moyenne des mesures effectuées dans chacune des stations d'un type donné.

Ces courbes apportent une confirmation éclatante à l'hypothèse formulée à l'issue de l'inventaire phyto-écologique. Malgré la grande similitude morphologique des horizons profonds, les sols de ces divers types de stations sont dotés de propriété hydriques fort différentes.

Chez les sols à pseudogley classiques, le sommet de l'horizon Bg est sensé constituer le « plancher » de la nappe temporaire, au-dessous duquel elle disparaît (d'où son nom de « nappe perchée »). En fait, dans le cas du matériau ayant donné naissance aux sols étudiés, la figure 1 montre qu'il n'en est rien : alors que l'horizon Bg se situe partout à environ 30 cm, des nappes véritables peuvent exister et fluctuer largement au dessous de ce niveau. La notion de « plancher » devient ambiguë; celui-ci n'est pas nettement localisé, mais diffus et progressif.

Le tableau 2 résume les principaux chiffres intéressants concernant la période du 17-12-68 au 10-6-69 (nappes présentes en permanence dans toutes les stations).

TABLEAU 2

Données concernant les nappes ; période du 17-12-68 au 10-6-69

Type de station	h. max. (cm)	h. min. (cm)	h (cm)	$\overline{ \Delta h }$ (cm)
<i>Molinia</i>	+ 2	— 7	— 1,8	2,8
<i>Carex</i>	— 4	— 23	— 11,2	6,6
<i>Deschampsia</i>	— 7	— 30	— 15,7	6,1
<i>Luzula</i>	— 12	— 50	— 28,9	11,5
<i>Poa</i>	— 13	— 62	— 37,1	12,3

Les stations à *Luzula albida* et à *Poa chaixi* apparaissent nettement moins hydromorphes que les autres types.

Entre le type à *Molinia coerulea* et l'ensemble des types à *Carex brizoïdes* et à *Deschampsia coespitosa*, les différences peuvent paraître faibles en valeur absolue; en fait, sur le plan biologique, les quelque 10 à 15 cm de différence observés entre les valeurs *h* peuvent être capitaux pour la vie du peuplement forestier.

Le caractère décevant de la confrontation flore-profondeur de l'horizon Bg, effectuée au cours de l'inventaire phyto-écologique du massif, trouve donc ici son explication. Cette profondeur mesurée ne traduit que très imparfaitement l'intensité de l'hydromorphie. Par suite, si l'on se réfère à nouveau à la carte en couleurs publiée lors de l'exposé des premiers résultats (AUSSENAC, BECKER, 1968), il s'avère que la distribution des espèces herbacées mérite une attention beaucoup plus grande que la cartographie de l'horizon Bg; dans les nombreux cas de discordance, c'est la nature de l'espèce dominante qui fait foi.

2.2. — Étude du potentiel capillaire

Il arrive fréquemment que les sols à pseudogley, très humides et asphyxiants en hiver (et printemps), deviennent au contraire extrêmement secs en été, ce qui accentue encore leur

caractère très défavorable. Nous avons été tenté de vérifier s'il en était bien ainsi dans le cas des sols étudiés et de préciser quantitativement le phénomène pour chaque type de station.

Nous avons utilisé la méthode de BOUYOCOS (1940), avec sondes hygrométriques en plâtre et pédohygromètre portatif type GELY, qui permet de lire directement les pF. Les sondes ont été installées dans chaque station, à trois profondeurs différentes (— 15 cm, — 25 cm et — 40 cm); une tarière spéciale, construite spécialement à cette intention, a permis de les mettre en place en perturbant au minimum le milieu.

L'été 1969, caractérisé par deux importantes vagues de sécheresse, a permis de discriminer les divers types de stations. La figure 2 indique l'évolution des pF à — 25 cm; à — 15 cm, les amplitudes observées sont encore plus fortes; à — 40 cm, elles sont nettement tamponnées, mais les écarts interstationnels sont toujours très marqués. Nous ne rapportons pas ici ces deux dernières courbes.

Les résultats s'avèrent là encore à la fois très nets et fort intéressants. Dans le cas des sols étudiés, il apparaît que la potentialité de remontée capillaire à partir de la profondeur soit suffisante, même en période de sécheresse prolongée, pour subvenir à l'évapotranspiration des stations du type *Molinia* ou *Carex*; les sols correspondants — les plus engorgés en phase humide — demeurent très nettement les plus humides en phase estivale. A — 40 cm, les deux vagues de sécheresse sont même pratiquement passées inaperçues.

Dans les sols à *Luzula* et à *Poa*, au contraire, l'effet de la sécheresse est très marqué; en surface, les pF se sont dangereusement rapprochés du point de flétrissement permanent.

Les sols à *Deschampsia* se singularisent. De très engorgés en phase humide, ils comptent parmi les plus secs en phase estivale; ce phénomène, comme ceux relatifs aux nappes, va trouver son explication au cours du paragraphe suivant.

2.3. — Les causes écologiques des divers régimes hydriques observés

2.31. Bilan hydrique d'une station.

Au cours d'un laps de temps donné (une semaine par exemple, qui correspond à la périodicité de nos mesures), le bilan hydrique d'une station peut être résumé par l'équation générale suivante :

$$P - i - ET - D + \Delta S = 0, \quad (1)$$

P = précipitations au cours de la période considérée,

i = quantité d'eau de pluie interceptée par le peuplement ligneux et rééaporée directement dans l'atmosphère,

ET = quantité d'eau correspondant à l'évapotranspiration du peuplement pendant la même période,

D = pertes d'eau, dans le sol, par drainage; il y a deux composantes à cette valeur : un drainage vertical profond D_v et un drainage latéral D_e ,

ΔS = valeur correspondant à la variation du stock d'eau emmagasiné par le sol.

Pendant la phase humide, dans le cas des sols étudiés, ΔS est lié à la variation Δh de l'épaisseur de la nappe perchée entre le début et la fin de la période :

$$\Delta S = k \cdot \Delta h,$$

où k est une expression de la macroporosité de la tranche de sol dans laquelle s'est déplacée la nappe.

Dans ce cas :

$$P - i - ET - D + k \cdot \Delta h = 0. \quad (2)$$

Chacun des termes P , i , ET , D et k intervient donc dans l'explication des divers régimes hydriques observés, en particulier celle des profondeurs de nappes. Nous allons tenter d'analyser l'importance relative de chacun d'eux, et surtout de savoir lequel, ou lesquels, varient de façon suffisamment différente dans les divers types de stations pour induire les importants écarts mis en évidence dans le paragraphe précédent.

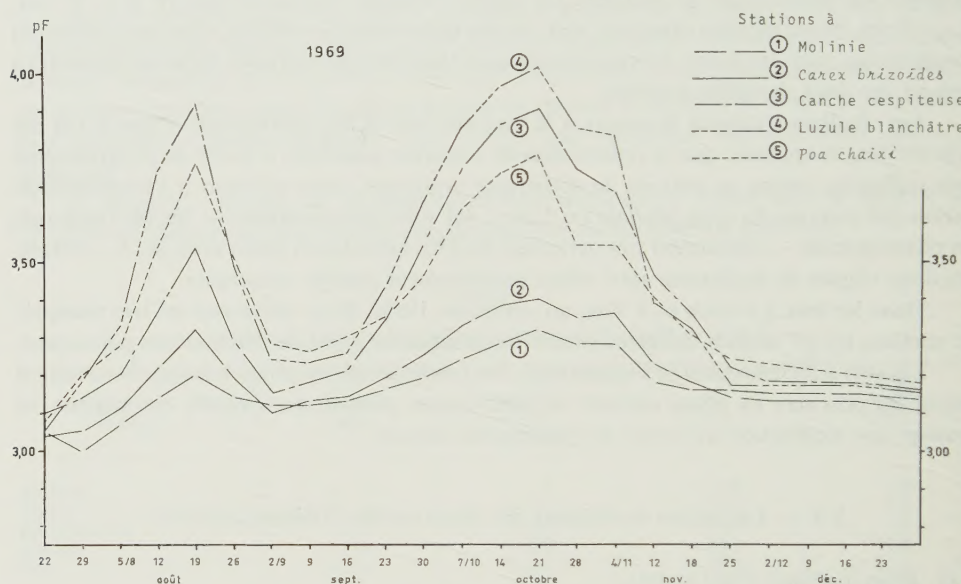


FIG. 2. — Évolution des pF à — 25 cm
FIG. 2. — Soil moisture fluctuations at — 25 cm.

2.32. L'aptitude au drainage.

La première hypothèse qui vient logiquement à l'esprit concerne l'aptitude au drainage naturel en phase d'engorgement hivernal et printanier. Pour diverses raisons faciles à imaginer, le drainage (vertical profond + latéral) des stations à *Luzula* et *Poa* pourrait être supérieur à celui des stations à *Carex* et à *Deschampsia*, lequel serait meilleur que celui des stations à *Molinia*. Par contre-coup, en phase estivale, le stock d'eau disponible dans les premiers types de stations pourrait être inférieur à celui des autres, expliquant ainsi les écarts de pF constatés précédemment.

Malheureusement, la mesure directe de D ($D_v + D_e$) est pratiquement impossible. Nous avons donc tenté de l'évaluer par le biais de régressions linéaires entre :

- d'une part, en ordonnées, les fluctuations hebdomadaires Δh de la nappe,
- d'autre part, en abscisses, les quantités d'eau qui arrivent effectivement au sol pendant les mêmes périodes et ne sont pas reprises par l'évapotranspiration.

En revenant à l'équation (2) :

$$(P - i - ET) = D - k \cdot \Delta h.$$

Ceci suppose que, pour une station donnée, le drainage naturel D est constant. Cette condition doit être approximativement remplie, bien que, en toute théorie, D doive être fonction de h (la pression de la colonne d'eau doit en effet agir quelque peu sur le débit profond D_v).

Nous expliquerons, dans les paragraphes 234 et 235, la façon dont nous avons calculé le terme $(P - i - ET)$ pour chaque semaine et chaque type de station.

Le tableau 3 rapporte les équations des droites de régression ainsi calculées (période du 17-12-68 au 10-6-69), les coefficients de corrélation entre Δh et $(P - i - ET)$ et les valeurs obtenues pour D .

TABLEAU 3

Résultats des régressions ; valeurs du drainage hebdomadaire D

Stations à	Équation de régression	r	D(mm)
<i>Molinia</i>	$(P - i - ET) = 2,73 \Delta h + 11,88$	0,65	11,9
<i>Carex</i>	$(P - i - ET) = 1,13 \Delta h + 11,79$	0,57	11,8
<i>Deschampsia</i>	$(P - i - ET) = 1,05 \Delta h + 5,49$	0,55	5,5
<i>Luzula</i>	$(P - i - ET) = 0,57 \Delta h + 5,39$	0,60	5,4
<i>Poa</i>	$(P - i - ET) = 0,62 \Delta h + 5,11$	0,65	5,1

Ces résultats peuvent surprendre à première vue, mais s'expliquent aisément.

On pourrait craindre d'avoir surestimé les différences de taux d'interception et d'évapotranspiration entre les divers types de stations (voir l'étude correspondante dans les paragraphes 234 et 235). Or, si l'on opère les mêmes régressions, mais sans tenir aucun compte du phénomène d'interception, ni de la diminution de l'ETP dans certaines stations, on obtient pratiquement la même valeur de D dans tous les types : *Molinia* 8,5 mm ; *Carex* 8,4 mm, *Deschampsia* 8,5 mm, *Luzula* 8,4 mm, *Poa* 8,1 mm.

Même si les écarts constatés plus haut étaient légèrement surestimés, il est donc certain, de toute façon, que le drainage naturel des stations à *Molinia* et à *Carex* est supérieur à celui des autres types.

Ce résultat, par conséquent, est contraire à l'hypothèse émise en début de paragraphe. Il n'en est pas moins fort intéressant, et nous pensons devoir l'interpréter comme suit.

-- Dans les stations à *Molinia*, *Carex*, *Luzula* et *Poa*, le matériau originel est le même partout (ce point de vue sera d'ailleurs confirmé ultérieurement), si bien que la capacité de drainage vertical profond est pratiquement la même dans tout les types ($D_v \approx 5$ mm par semaine).

— Dans les stations à *Molinia* et à *Carex*, pour des raisons qui seront exposées dans les paragraphes suivants, les nappes parviennent rapidement vers la surface du sol (entre 0 et — 15 cm), zone où la macroporosité est — nous le verrons — supérieure à celle observée en profondeur (où restent cantonnées les nappes des autres types de stations). Le drainage latéral s'en trouve augmenté d'autant, expliquant ainsi les différences observées dans les valeurs totales $D = D_v + D_e$.

On pourrait également penser à l'influence de la pente sur la valeur de D_e . En fait, celle-ci est partout très faible et ne saurait avoir qu'une importance très minime dans l'expli-

cation des phénomènes analysés; les moyennes des pentes mesurées dans chacune des placettes sont en effet les suivantes :

Stations à <i>Molinia coerulea</i>	1	%
Stations à <i>Carex brizoides</i>	0.7	%
Stations à <i>Luzula albida</i>	1	%
Stations à <i>Poa chaixi</i>	2	%

— En ce qui concerne l'explication proposée ci-dessus, les stations à *Deschampsia coespitosa* constituent une exception. Comme dans les stations à *Carex*, le niveau moyen des nappes est proche de la surface, et, pourtant, la valeur calculée de D est beaucoup plus faible. La pente étant même sensiblement plus forte qu'ailleurs (3,5 %, en moyenne), et la macroporosité — nous le verrons — du même ordre de grandeur, le drainage latéral D_p doit être au moins égal à celui des stations à *Carex*.

On est donc amené à en conclure que c'est le drainage vertical D_v qui est nettement plus faible que dans les autres types de stations. Étant donnée la nature particulière du matériau originel profond (argiles du Muschelkalk, voir § 32), cette explication est d'ailleurs pleinement plausible.

2.33. La texture et le tassement des horizons.

Bien que l'aptitude au drainage naturel apparaisse très semblable dans la plupart des stations étudiées, il ne faut pas éliminer l'hypothèse qu'une différence de porosité au sein des horizons Bg puisse conduire à une montée plus rapide des nappes dans les stations à *Molinia coerulea* et à *Carex brizoides*.

Nous devons cependant admettre dès maintenant que, même si l'hypothèse devait être confirmée, elle ne saurait suffire à elle-seule pour expliquer les importants écarts de pF mis en évidence dans la figure 2 : la quantité d'eau stockée en phase hivernale n'en serait pas moins la même dans tous les cas (ou même plus faible dans les stations les plus engorgées, vu leur drainage latéral plus important).

La porosité totale d'un horizon est la somme de la microporosité, qui est fonction essentiellement de la texture, et de la macroporosité, qui dépend de la structure et du tassement.

Le tableau 4 résume l'ensemble des résultats des analyses granulométriques. Comme toujours, chaque chiffre correspond à la moyenne des valeurs observées pour chacune des stations d'un type donné.

Dès l'abord, ces résultats apparaissent, dans l'ensemble, d'une grande homogénéité d'un type de station à l'autre.

Partout, les sols, à prédominance limoneuse en surface (horizons A_1 et A_2g), deviennent très argileux en profondeur (horizons B_1 et B_g). Cette brutale augmentation du taux d'argile n'est d'ailleurs probablement pas la conséquence, pour l'essentiel, d'un lessivage, mais traduit l'existence de deux couches d'origines différentes : des alluvions d'origine peut-être fluviale, riches en argile (ou, dans le cas des stations à Canche cespiteuse, un matériau essentiellement issu du Muschelkalk, mais également très argileux), surmontées d'une couche de limon d'origine éolienne; ces deux couches ont de plus été plus ou moins mélangées (cryoturbation).

Des comparaisons de moyennes ont été effectuées entre tous les types de sols, pour tous les horizons et toutes les fractions granulométriques. Le test t de STUDENT-FISHER a été utilisé (comparaisons de moyennes dans le cas de petits échantillons).

TABLEAU 4
Résultats des analyses granulométriques

	<i>Molinia</i>			<i>Carex</i>			<i>Deschampsia</i>			<i>Luzula</i>			<i>Poa</i>		
	A ₁	A _{2g}	B ₁	A ₁	A _{2g}	B ₁	A ₁	A _{2g}	B ₁	A ₁	A _{2g}	B ₁	A ₁	A _{2g}	B ₁
SG	14,69	17,05	12,53	10,65	14,64	12,07	10,99	13,98	10,81	9,45	8,83	9,11	13,94	13,18	12,59
Sf	6,59	6,72	5,03	8,66	8,66	7,07	7,70	8,18	7,28	5,80	5,51	4,63	9,94	9,87	9,13
LG	19,67	22,78	18,50	22,43	21,76	18,26	24,18	21,80	16,22	21,61	22,41	20,12	20,45	22,63	19,39
Lf	36,86	36,86	31,37	34,72	34,84	27,44	38,13	37,86	37,55	38,86	39,34	31,88	32,96	32,91	29,53
A	13,68	15,26	31,71	15,65	18,42	34,59	14,08	16,82	34,89	15,46	22,48	33,08	15,82	20,32	28,76
MO	8,44	1,27		7,82	1,61		4,87	1,29		8,41	1,24		6,82	1,02	

Il n'est apparu que fort peu de différences significatives, qui, toutes, mettent en jeu les stations de Hêtraie à *Luzula albida*; les sols correspondants sont caractérisés par une couche de limon éolien qui, sans être obligatoirement plus épaisse qu'ailleurs, est demeurée mieux individualisée par rapport au matériau sous-jacent plus argileux.

Du point de vue édaphique, cette caractéristique s'avère une de celles qui — avec celles liées à une plus grande acidification, due en partie à l'action du Hêtre lui-même — discriminent le mieux les stations à *Luzula albida* et celles à *Poa chaixi*, par ailleurs très semblables sur le plan hydrique.

Au total, les sols étudiés présentent des caractéristiques de texture — et donc de microporosité — fort homogènes d'un type de station à l'autre.

Mais, à texture identique, il est évident que deux sols peuvent avoir des propriétés hydriques très différentes, en période d'excès d'eau surtout, selon leur structure. Lorsque celle-ci, pour des raisons diverses, se dégrade, se produit un tassement, qui a pour effet de réduire plus ou moins fortement la macroporosité. Or, c'est cette dernière qui conditionne la vitesse de montée des nappes, en fonction des pluies excédentaires.

Des mesures de macroporosité ont donc été effectuées, en utilisant la technique « à la paraffine ». Trois prélèvements ont été faits dans chaque profil, à — 20 cm (A_2g), — 40 cm (B_1) et — 80 cm (Bg profond). Les résultats obtenus sont les suivants :

Type de station	— 20 cm	— 40 cm	— 80 cm
<i>Molinia</i>	19,2 %	11,9 %	5,7 %
<i>Carex</i>	21,9 %	9,6 %	6,6 %
<i>Deschampsia</i>	17,3 %	9,3 %	5,1 %
<i>Luzula</i>	21,9 %	13,3 %	9,5 %
<i>Poa</i>	28,3 %	17,4 %	13,1 %

Ils montrent :

— d'une part, que la macroporosité diminue fortement et rapidement avec la profondeur, ce qui est logique et classique. On comprend ainsi pourquoi les fluctuations hebdomadaires des nappes sont plus faibles dans les stations très engorgées que dans les autres (cf. tableau 2).

— d'autre part, elle apparaît nettement plus faible, surtout en profondeur, dans les stations du type *Molinia*, *Carex* et *Deschampsia* que dans celles du type *Luzula* et, plus encore, du type *Poa*.

Bien que l'aptitude au drainage soit la même dans la plupart des types, les différences interstationnelles de macroporosité mises en évidence doivent contribuer de façon importante à l'explication des divers régimes de nappes observés.

Nous allons cependant voir qu'elles n'entrent pas seules en ligne de compte; nous avons de plus déjà dit qu'elles ne sauraient expliquer les différences de régimes hydriques en phase estivale.

2.34. L'interception *i* due au couvert forestier.

Lors du calcul des termes ($P - i - ET$) (cf. § 232), nous avons admis que la pluviosité P était la même au-dessus de chacune des placettes; nous avons utilisé les données recueillies à un poste météorologique simplifié que nous avons installé, en début d'étude, au cœur du massif, dans une très grande clairière (très jeune plantation).

Mais on sait que les peuplements forestiers interceptent, par leur feuillage, un pourcen-

tage non négligeable de la pluie incidente. Cette eau interceptée est rééaporée directement dans l'atmosphère.

Les études quantitatives dans ce domaine sont encore peu nombreuses. Elles nécessitent des expérimentations longues et relativement complexes, qu'il était hors de question pour nous d'envisager.

Pour le calcul des termes ($P - i - ET$), nous avons cependant cru pouvoir nous référer à de récentes études menées dans une région proche de la nôtre (45 km) et à pluviométrie semblable (G. AUSSENAC, 1968). L'auteur montre que l'interception nette d'un peuplement feuillu fermé (Hêtre + Charme) représente, par an, 17 % des précipitations incidentes; il y a une différence entre la phase feuillée (18,6 %) et la phase défeuillée (15,1 %).

Compte tenu des valeurs mensuelles citées dans cette étude, nous avons estimé à environ 16 % le pourcentage d'interception des stations à *Deschampsia coespitosa*, *Luzula albidula* et *Poa chaixii* (peuplements fermés), pendant la période retenue pour nos calculs de régression (17-12-68 au 10-6-69).

Dans les stations à *Molinia coerulea* et à *Carex brizoides*, par contre, le couvert ligneux est très loin d'être complet, et nous avons retenu la valeur approximative de 8 % pour les calculs présentés au paragraphe 232. Au cours de la période de référence, cela a représenté un total de 39,5 mm de plus disponibles pour alimenter les nappes de ces stations.

Sur l'ensemble d'une année moyenne, on peut estimer que les sols des stations dégradées reçoivent 10 % d'eau de pluie de plus que ceux des stations fermées en bon état (soit environ 62 mm de plus).

Le phénomène de l'interception apporte donc un complément à l'explication des régimes de nappes mis en évidence, et un début à celle des régimes hydriques en phase estivale.

2.35. L'évapotranspiration ET des stations.

Lorsque les nappes sont présentes, l'évapotranspiration réelle ET du couvert végétal est égale à l'évapotranspiration potentielle (E.T.P.).

Pour les stations où le couvert ligneux est en bon état et complet, c'est-à-dire celles à *Deschampsia*, *Luzula* et *Poa*, nous avons admis que l'E.T.P. était sensiblement celle mesurée en plein découvert (au poste météorologique). Pour le calcul des termes ($P - i - ET$) déjà évoqués, nous avons utilisé, sans correction, les données brutes de l'évaporomètre Piche.

Dans les stations à *Molinia* et à *Carex*, par contre, nous savons que le peuplement ligneux est très clairsemé : de vieilles réserves, entre lesquelles le taillis est le plus souvent pratiquement absent, remplacé par un tapis herbacé. Dans ce cas, on peut donc s'attendre à ce que, globalement, l'E.T.P. des stations soit inférieure à celle mesurée au poste météorologique. En effet, si la couverture végétale demeure complète, sa structure est fort différente; seules les réserves qui subsistent sont soumises à la même E.T.P. que les peuplements en bon état; le micro-climat régnant au niveau de la strate herbacée qui s'étend entre ces réserves éparées, est très différent de celui qui existe au niveau des couronnes des arbres ou en plein découvert. La vitesse du vent, en particulier, est très diminuée, le régime thermique bien différent; en résumé l'E.T.P. doit y être inférieure.

Des études expérimentales en cours (G. AUSSENAC, non publié) montrent que les écarts peuvent atteindre des valeurs très importantes. C'est la raison pour laquelle, dans le but d'évaluer la baisse d'E.T.P. des stations à *Molinia coerulea* et à *Carex brizoides*, nous avons installé un abri simplifié A.M.P.S. dans une placette typique de chacun de ces deux types. Ces abris fonctionnent depuis le 23 mars 1971 (PICHE, températures maximum et minimum).

Les écarts observés, par rapport au poste principal, sont considérables; ils sont, naturellement, plus importants en phase feuillée qu'en phase défeuillée.

La foliaison était pratiquement totale à la fin avril. Il en avait été sensiblement de même en 1969. Nous avons donc utilisé les coefficients moyens observés en 1971 pour corriger, dans les stations à *Molinia* et à *Carex*, les données du poste principal pendant la période du 24 décembre 1968 au 10 juin 69, à savoir 0,7 jusqu'au 1^{er} mai 1969 (phase défeuillée) et 0,5 au delà (phase feuillée).

Le supplément d'eau disponible pour alimenter les nappes des stations dégradées, pendant la période de référence, a atteint 56,7 mm pour la phase défeuillée et 62,5 mm pour la phase feuillée; le total de 119,2 mm obtenu représente 24,2 % de la pluie incidente pendant la même période (493 mm).

Bien plus encore que le phénomène de l'interception, les différences d'évapotranspiration contribuent donc à accroître l'engorgement des stations dégradées en période hivernale et printanière.

Mais ces différences jouent de façon encore plus décisive en été pour expliquer les fortes différences d'assèchement précédemment mises en évidence. Ainsi, pour la période du 15-7-69 au 4-11-69 (pluviométrie : 121,8 mm), on peut estimer que l'E.T.P. des stations à *Molinie* n'a été que d'environ 104 mm, contre 208 mm dans les peuplements fermés; on s'explique ainsi pourquoi les deux vagues de sécheresse enregistrées pendant cette période ont été pratiquement sans effet dans les stations à *Molinie*.

Bien évidemment, ce qui se passe en période sans nappes, a, en outre, une profonde répercussion sur la date de retour de ces dernières. Si, au début de l'hiver, les sols à *Molinie* sont encore proches de la capacité au champ, les premières pluies importantes feront apparaître les nappes d'eau libre, tandis que les sols à *Poa* devront commencer à se réhumecter sur toute leur épaisseur (cf. fig. 1 et 2).

2.36. Conclusions.

Bien que l'évapotranspiration réelle ne soit pas constamment égale à l'E.T.P., un calcul rapide montre que dans les stations très ouvertes (type *Molinia*), le surplus d'eau annuel disponible pour réhumecter le sol ou alimenter les nappes peut être considérable :

— à Charmes, la normale annuelle de pluviosité est de 730 mm; si l'on évalue à 8 % la différence de taux d'interception entre les stations à *Poa* et celles à *Molinia*, tout se passe comme si ces dernières recevaient un surplus de 58 mm.

— la normale annuelle de l'E.T.P. est d'environ 606 mm. Ce chiffre est valable pour les stations à *Poa*. Dans les stations à *Molinia*, elle est d'environ 40 %, inférieure, soit un surplus de 242 mm disponible pour le sol.

— le total de 300 mm (plus de 40 % des précipitations annuelles) que l'on obtient, peut-être surestimé, donne pourtant une idée de l'importance, décisive, du phénomène.

Nous avons vu comment ces deux phénomènes contribuaient à l'explication de l'écart important de régimes hydriques existant entre l'ensemble « *Molinia-Carex* » et l'ensemble « *Luzula-Poa* ». Mais, de la même façon, ils peuvent contribuer, conjointement au tassement, à l'explication des écarts moindres mais bien réels, observés entre le type « *Molinia* » et le type « *Carex* » d'une part, le type « *Luzula* » et le type « *Poa* » d'autre part.

En effet, ce n'est que pour schématiser que nous n'avons adopté, pour nos régressions linéaires, que deux valeurs possibles du taux d'interception et de l'E.T.P. hebdomadaire. En fait, nous l'avons vu au cours du paragraphe 1, d'une part les peuplements des stations

à *Molinia* sont plus dégradés que ceux des stations à *Carex*, d'autre part, les stations à *Luzula* portent un peuplement assez proche de la futaie, à réserves un peu plus denses, mais à taillis beaucoup moins fourni. Les valeurs i et ET sont donc plus faibles dans le type à *Molinie*, et peuvent expliquer la différence avec le type à *Carex*. La valeur de i , seule semble-t-il, peut contribuer à expliquer la légère différence entre les stations à *Luzula* et à *Poa*.

*
* *

En conclusion de cet important paragraphe, il apparaît que les divers régimes hydriques mis en évidence au cours de notre étude, sont liés à trois variables écologiques : le tassement des sols, le taux d'interception des peuplements, l'évapotranspiration potentielle des stations.

En fait, ces trois variables peuvent être rassemblées dans un seul grand facteur du milieu, dont l'importance apparaît alors capitale, à savoir *l'influence de l'Homme*.

Celui-ci, en effet, par le traitement qu'il impose à la forêt (taillis-sous-futaie), en modifie profondément la structure, dans un sens extrêmement défavorable, nous venons de le montrer.

La diminution du taux d'interception et celle, très forte, de l'évapotranspiration qui s'ensuivent, provoquent l'apparition d'importantes différences de régimes hydriques dans les sols. *Secondairement*, la structure des sols s'en trouve affectée, et le tassement qui en découle vient accentuer de façon décisive leur engorgement en phase d'excès d'humidité. L'aspect dynamique de ces processus sera évoqué plus longuement dans le paragraphe IV.

L'aptitude au drainage naturel, par contre, est la même dans la plupart des stations. Ceci montre que les stations actuellement dégradées ne sont pas viciées *par nature*; l'Homme seul est responsable. On peut donc avoir l'espoir que la situation puisse être *réversible* (voir § 44).

Cas particulier des stations à Deschampsia coespitosa :

Malgré un taux d'interception élevé et une E.T.P. forte, les stations à *Deschampsia coespitosa* sont caractérisées par un régime hydrique, en phase engorgée, proche de celui des stations à *Carex brizoides*. Dans ce cas, nous savons que l'explication réside dans la nature du matériau originel profond (Muschelkalk), plus imperméable; le drainage vertical est inférieur à celui des autres stations.

Par contre, nous avons vu que, de très engorgées en phase humide, les stations à *Deschampsia* rejoignent les plus sèches en été. L'explication de ce phénomène est désormais toute évidente : en été, la différence de capacité de drainage profond qui les caractérise n'intervient plus; par contre, l'E.F.P. et le taux d'interception étant de l'ordre de ceux des stations à *Poa* et à *Luzula*, il est logique que les pF leur deviennent également comparables.

III. — ÉTUDE CHIMIQUE ET MORPHOLOGIQUE DES PROFILS

3.1. — Introduction

Nous avons vu comment les résultats du paragraphe 2 ont permis d'expliquer le paradoxe qui était apparu à l'issue de la première phase de l'étude — l'inventaire phyto-écologique —, à savoir l'existence de sols morphologiquement très comparables, portant des types de végétation fort différents.

Nous vérifions ainsi l'hypothèse émise alors, à savoir que ces sols, tout au moins l'horizon inférieur, très épais et fortement marmorisé, étaient très vieux et que bon nombre de leurs caractéristiques physionomiques étaient, en quelque sorte, des reliques d'un passé lointain, sans relation avec la végétation et les conditions écologiques actuelles.

A une époque plus récente, ils ont été repris par une pédogénèse nouvelle, et, selon les conditions locales de drainage et de microclimat, ont évolué vers des types plus ou moins hydromorphes. Partiellement masqués par les caractéristiques physionomiques relictuelles, les caractères nouvellement acquis, soit sont passés inaperçus, soit n'ont pas été appréciés à leur juste valeur au cours de l'examen rapide pratiqué lors de l'inventaire phyto-écologique.

A l'heure actuelle les horizons Bg de ces sols sont bien, comme nous l'avions supposé, tantôt « fonctionnels », tantôt non ou peu « fonctionnels ».

Il nous apparaît indispensable, au point où nous en sommes, d'approfondir les conséquences des conditions *actuelles* d'hydromorphie sur les composantes édaphiques, et en particulier sur les caractéristiques physionomiques des profils, en liaison avec leurs caractéristiques chimiques. Ceci devrait permettre de mieux faire la part, parmi les signes d'hydromorphie perçus aujourd'hui, de ceux qui sont des « reliques » et de ceux qui sont « actuels ».

Les 29 profils types ont donc fait l'objet d'observations attentives, accompagnées d'analyses chimiques approfondies.

Le tableau 5 présente les résultats des analyses qui ont été faites. Chaque chiffre est la moyenne des valeurs obtenues pour chacune des stations de chaque type. Sauf indication contraire, les résultats sont exprimés en milliéquivalents pour 100 g.

3.2. — Étude des cations et anions essentiels

Toutes les analyses ont fait l'objet de comparaisons de moyennes interstationnelles. Elles permettent de conclure que, mis à part le type à *Deschampsia coespitosa*, les sols des divers types de stations ne présentent pas de différences très marquantes sur le plan de la richesse en bases échangeables. En ce qui concerne le phosphore échangeable, les tests n'ont fait apparaître aucune différence significative entre profils, qui s'avèrent tous normalement pourvus.

Quant aux stations à *Deschampsia*, ces premières analyses apportent un élément de confirmation à une des hypothèses émises au cours de la première partie, à propos de l'interprétation géomorphologique du massif : Au Sud du vallon principal (où sont localisées nos stations à *Deschampsia*), les apports surmontant le Muschelkalk sont moins épais et essentiellement constitués de limons éoliens mélangés aux marnes sous-jacentes, qui sont beaucoup plus riches chimiquement que les alluvions argileuses des autres types de stations.

Seul le taux de saturation de l'horizon A₁ permet un classement statistiquement significatif de l'ensemble des types de stations :

— stations à <i>Luzula albida</i>	7 %
— stations à <i>Molinia</i> et à <i>Carex brizoides</i>	11 %
— stations à <i>Poa chaixi</i>	15 %
— stations à <i>Deschampsia coespitosa</i>	42 %

TABLEAU 5
Résultats des analyses chimiques

Stations à	<i>Molinia</i>			<i>Carex</i>			<i>Deschampsia</i>			<i>Luzula</i>			<i>Poa</i>		
	A ₁	A _{2g}	B ₁	A ₁	A _{2g}	B ₁	A ₁	A _{2g}	B ₁	A ₁	A _{2g}	B ₁	A ₁	A _{2g}	B ₁
C	5,31	0,76		5,26	1,17		2,89	0,88		4,86	1,28		3,93	1,16	
N	0,26	0,04		0,29	0,06		0,19	0,07		0,25	0,06		0,29	0,06	
C/N	20,81	18,04		18,02	18,00		15,31	13,74		19,80	21,36		17,03	18,62	
pH	4,70	4,90	4,90	4,60	4,80		5,50	5,70	5,90	4,70	4,60	4,80	4,90	4,70	4,80
Ca	0,60	0,19	0,86	0,68	0,25		1,93	1,56	5,89	0,82	0,20	1,18	1,02	0,21	1,00
K	0,21	0,09	0,16	0,21	0,10		0,20	0,09	0,19	0,26	0,11	0,20	0,28	0,09	0,16
Mg	0,31	0,35	1,41	0,44	0,42		0,94	1,42	6,60	0,26	0,22	2,16	0,32	0,24	1,46
S	1,12	0,62	1,99	1,33	0,77		3,06	3,07	12,68	1,24	0,53	3,53	1,62	0,53	2,62
T	10,87	4,68	12,36	11,20	5,90		7,10	5,95	15,10	13,84	5,80	11,92	11,13	5,37	10,33
S.T °	10,40	14,20	17,60	11,70	12,30		42,20	50,30	83,80	7,30	8,30	23,10	15,00	10,80	23,60
P ₂ O ₅	0,09	0,08	0,09	0,11	0,09		0,08	0,06	0,16	0,09	0,06	0,08	0,10	0,09	0,16
Fe %	0,24	1,01	2,11	0,26	0,69		0,29	1,04	1,57	0,70	0,95	1,58	0,61	0,77	1,55
Al %		1,66	3,42		2,03			1,80	2,47		2,60	3,22		2,42	3,22

3.3. — *Le type d'humus et la structure des horizons superficiels*

On sait que le rapport Carbone/Azote, C/N, est le meilleur critère permettant de caractériser l'humus. A la surface du sol, le rapport C/N de la matière organique renseigne sur la richesse en azote de la litière; plus profondément, dans l'horizon A₁, sous l'influence des composés humiques de néoformation, il diminue et tend vers une valeur d'équilibre caractéristique du type d'humus (DUCHAUFOR, 1965).

De fait, le rapport C/N de l'horizon A₁ s'est révélé un des critères les plus intéressants pour discriminer les types de stations. Tous les écarts observés sont statistiquement significatifs (sauf l'écart *Carex-Poa*).

On met ainsi en évidence une preuve supplémentaire de l'hétérogénéité de ces sols qui, malgré nos doutes, ont dû être réunis jusqu'ici sous l'étiquette unique de « sols lessivés à pseudogley ». Elle est de poids, si l'on sait combien l'humus est un intégrateur de tout un ensemble des propriétés du sol (DUCHAUFOR, 1960).

Parallèlement aux variations de rapports C/N, un examen attentif des profils montre des différences marquées de structure au sein des horizons superficiels.

Stations à Molinia coerulea : C/N = 20,8.

Cette valeur caractérise des humus du type moder. Il s'agit ici du sous-type *hydro-moder* (parfois *hydromor* dans certaines stations). La structure est « fondue », franchement défavorable.

Stations à Carex brizoides : C/N = 18,0.

On a également affaire à des *hydromoders*, à structure « fondue ».

Stations à Deschampsia coespitosa : C/N = 15,3.

La valeur de C/N est caractéristique des humus de type mull forestier. Dans le cas présent, ce sont des *hydromulls*. Un peu mieux aérés, et nettement plus riches chimiquement, rappelons-le, ces humus présentent déjà une ébauche de structure grumeleuse.

Stations à Luzula albida : C/N = 19,8.

Cette valeur est celle des moders typiques. Dans le cas des stations correspondantes, il s'agit du *moder forestier* classique. La structure devient nettement polyédrique grumeleuse.

Stations à Poa chaixi : C/N = 17,0.

Valeur de transition entre le mull forestier et le moder. Nous rattachons ces humus au sous-type *mull acide*. La structure est polyédrique grumeleuse.

Les différences de structure et de type d'humus observées apparaissent liées conjointement à deux facteurs : d'une part au degré d'hydromorphie, c'est-à-dire à l'aération de l'horizon supérieur, d'autre part à la richesse chimique du sol, que traduit ici le taux de saturation S/T.

— Lorsque l'aération est suffisante, la faune responsable de l'élaboration de la structure est favorisée; de plus — nous allons le voir dans le paragraphe suivant —, la teneur en fer ferrique, le meilleur liant des agrégats argilo-humiques, est élevée. Lorsque l'aération de l'humus baisse, la disparition de la faune utile, et la mise en solution d'une partie du fer, provoquent la dégradation de la structure.

— Le degré d'acidité du sol intervient également; un taux de saturation élevé peut venir compenser une hydromorphie accusée. Ainsi, malgré une aération médiocre, les sols à *Deschampsia coespitosa* sont-ils caractérisés par un C/N bas ($S/T = 42,2 \%$). Inversement, malgré une aération très satisfaisante, les sols à *Luzula albida* ont un C/N assez élevé (lié par ailleurs à un taux de saturation très faible : $7,3 \%$).

3.4. — Redistribution du fer et couleur des horizons

3.41. Les horizons superficiels.

On sait que les sols à pseudogley se caractérisent par un indice d'entraînement du fer élevé. Pendant les phases où la nappe perchée existe, une partie est réduite à l'état ferreux et se trouve ainsi mobilisée; le fer peut alors migrer en profondeur et y précipiter, sous forme ferrique insoluble, à l'occasion des périodes sèches oxydantes.

Effectivement, les rapports teneur B_1 /teneur A_1 discriminent de façon très nette les divers types de profils (voir tableau 6).

TABLEAU 6

Indice d'entraînement du fer et couleur de l'horizon A_{2g}

Type de station	Indice FeB_1/FeA_2	Couleur A_{2g}
<i>Molinia</i>	8,80	gris clair — 10 YR 7/1
<i>Carex</i>	7,01	gris clair — 2,5 Y 7/2
<i>Deschampsia</i>	5,41	gris clair — 10 YR 7/2
<i>Luzula</i>	2,26	brun pâle — 10 YR 6/3
<i>Poa</i>	2,54	brun pâle — 10 YR 6/3

Tous les écarts observés sont significatifs au risque de 5% , excepté l'écart *Luzula-Poa* (non significatif). Ils correspondent de façon flagrante et remarquable aux écarts d'hydromorphie mis en évidence au cours du paragraphe 2.

D'ordinaire, cet entraînement s'accompagne d'un éclaircissement de l'horizon A_{2g} . Effectivement, bien que relativement discrètes — un bon éclairage et des conditions semblables d'humidité des échantillons sont nécessaires — des différences de coloration apparaissent entre les divers types (cf. tableau 6).

Ajoutons qu'en moyenne, les taches rouille d'oxydo-réduction qui parsèment la plupart des horizons A_{2g} , sont plus abondantes, et surtout plus contrastées, dans les types à *Molinia*, à *Carex* et à *Deschampsia* que dans les types à *Luzula* et à *Poa*. L'abondance des concrétions ferro-manganiques, par contre, n'est pas discriminante.

Les trois premiers types de sols sont donc fortement « hydromorphes »; les deux autres sont plus proches, au moins en ce qui concerne l'évolution récente, de « sols bruns acides ».

3.42. L'horizon B_1

Le fer ainsi mobilisé en abondance dans les profils les plus hydromorphes, l'a été aux

dépens de la couche « récente » de limons éoliens surmontant l'horizon Bg profond, beaucoup plus argileux, qui, lui, est relique.

Entre les horizons A et Bg, a pu alors s'édifier un horizon d'accumulation « secondaire » de fer à l'état ferrique, que l'on appellera B₁. Il s'y est d'autre part formé d'abondantes concrétions ferro-manganiques *irrégulières*, parfois très grosses et une marmorisation sans orientations préférentielles (marmorisation « tachetée » de PLAISANCE, 1965).

Mais cet horizon B₁ se trouve lui-même au contact, et même certainement intriqué avec le sommet de l'horizon Bg fossile, zone qui, selon toutes vraisemblances, a dû subir un remaniement périglaciaire (par cryoturbation); ce phénomène semble en effet avoir été général sur les limons anciens des Basses Vosges et de la Lorraine (HETIER *et al.*, 1970). Il en résulte qu'une partie des concrétions observées aujourd'hui dans l'horizon B₁ (et de la marmorisation) doit être héritée de l'horizon profond; de fait, on y a observé des concrétions à bord arrondi — certainement très anciennes — qui correspondent vraisemblablement à ce schéma. D'autre part, la discontinuité granulométrique qui existe au sein des profils, se situe, non entre B₁ et Bg, mais entre A_{2g} et B₁. L'essentiel de l'argile de B₁ est très probablement hérité du Bg profond.

Néanmoins, comme pour l'horizon A_{2g}, si les concrétions ne constituent pas un élément permettant de discriminer les divers types de stations, l'intensité et les contrastes de la marmorisation de l'horizon B₁ apparaissent, de façon significative, liés au degré d'hydromorphie.

3.43. L'horizon de fragipan Bg

L'horizon Bg est extrêmement caractéristique. Il commence en moyenne à 50-60 cm et se développe sur une grande profondeur (plus de 2 mètres). Il comporte des trainées verticales décolorées sur fond ocre.

Observé depuis longtemps dans bien d'autres régions et pays (PLAISANCE, 1965), il n'a été un peu mieux étudié que depuis peu. Tel qu'il est perçu aujourd'hui dans la plupart des cas, il semble en fait correspondre à la partie inférieure d'un horizon autrefois développé sur une plus grande profondeur — baptisé « horizon glossique » (du grec *glôssa*, langue) —, dont le sommet aurait été tronqué.

Dans le cas des sols étudiés ici, l'apparence de cet horizon Bg est très semblable d'un type de station à l'autre. Tout au plus peut-on constater, vers la partie supérieure, que les contrastes de couleurs, entre les bandes verticales blanchies et le fond ocre, sont plus accusés dans les types à *Molinia* et à *Carex* que dans les types à *Luzula* et à *Poa*.

Ces sols à horizon glossique ont fait l'objet d'études micromorphologiques récentes (DUCHAUFOUR *et al.*, 1971) qui ont pleinement confirmé le caractère « relique » de cet horizon.

De façon générale, les bandes glossiques blanches ont été le plus souvent amputées et remaniées à la partie supérieure par cryoturbation. Lorsque l'amputation a été importante, il ne subsiste plus que la base de l'horizon glossique, à bandes décolorées étroites et ramifiées (horizon de fragipan); c'est le cas de la très grande majorité des profils étudiés en forêt de Charmes.

Ces bandes glossiques correspondraient à la pénétration d'un ancien horizon A₂ dégradé et décoloré, dans des fentes de retrait. Tronquées, elles ne montrent plus les « entonnoirs »

qui devaient exister au sommet. Les études de microstructure indiquent qu'elles comportent en fait trois parties; en allant du centre vers l'extérieur :

- a) un limon fin quartzueux blanc (ancien horizon A_2),
- b) des argillanes dites de « dégradation », résultant de la déferrification d'anciennes argillanes ocre,
- c) d'épaisses ferri-argillanes ocre, à structure feuilletée, qui résulteraient de l'entraînement, au cours des phases les plus anciennes de la pédogénèse, d'argiles ferrugineuses, en milieu aéré.

3.5. — Problèmes de nomenclature

Pour désigner les sols étudiés, nous avons jusqu'à présent conservé la dénomination unique « sol lessivé à pseudogley ».

Les résultats qui sont désormais acquis incitent à réviser la question. Ces profils complexes posent un difficile problème de classification et de nomenclature. Mais de toutes façons il semble que cette appellation soit à proscrire, d'une part parce que, sous ce seul vocable, sont compris non pas un type de pédogénèse mais plusieurs, d'autre part parce que le phénomène de « lessivage » évoqué est un processus très ancien qui ne correspond pas à la pédogénèse actuelle.

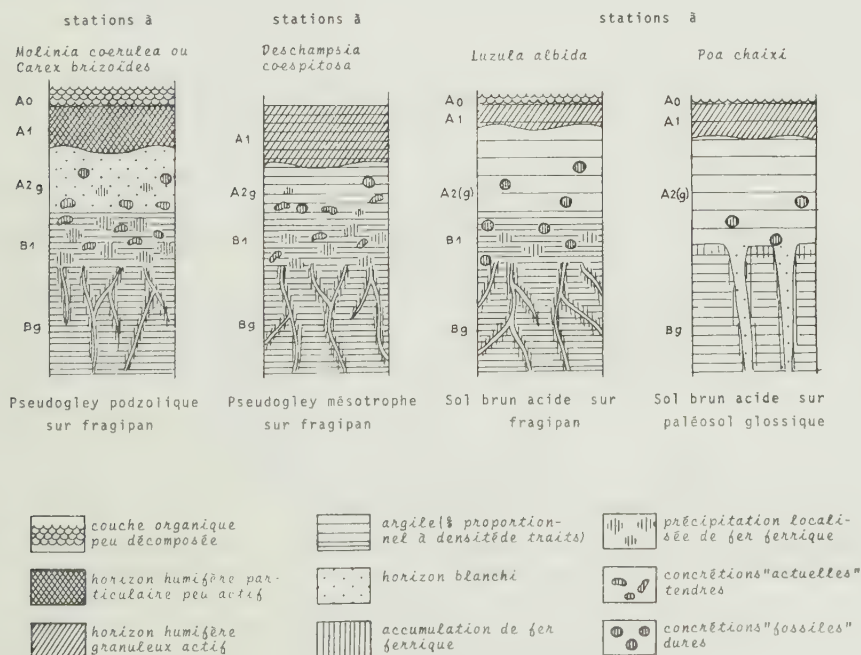


FIG. 3. — Schémas de quelques profils pédologiques typiques

FIG. 3. — Schemes of some typical kinds of soils

Or, la classification française tend à porter l'accent sur l'évolution « récente » du profil, celle qui est en liaison avec les conditions actuelles de station (végétation, climat...).

C'est donc l'évolution récente de la couche superficielle, surmontant l'horizon Bg fossile, qui doit être prise en considération.

Plusieurs cas peuvent être distingués (voir fig. 3) :

a) Il peut arriver qu'aucune phase hydromorphe n'ait eu lieu depuis la mise en place du matériau surmontant l'horizon fossile (absence d'horizon B₁); le cas est cependant exceptionnel en forêt de Charmes. Le plus souvent, après une ou plusieurs phases hydromorphes, le profil s'est trouvé assaini depuis suffisamment longtemps pour qu'une certaine « regradation » (le processus sera évoqué plus longuement dans le paragraphe suivant) des horizons supérieurs ait pu s'opérer. On pourrait alors proposer la dénomination : *sol brun acide sur paléosol glossique* (1^{er} cas) ou *sur fragipan* (2^e cas).

b) Lorsque, à une époque « récente », une hydromorphie importante et prolongée a marqué le profil, dégradant l'humus et la structure, provoquant une décoloration poussée de l'horizon A₂g et une marmorisation irrégulière et contrastée de l'horizon B₁, on aurait un : *pseudogley podzolique sur fragipan*.

c) Les sols des stations à Canche cespiteuse constituent une exception dans ce schéma. Dans ce cas, malgré un engorgement important, la richesse chimique du sol est propice à une activité biologique intense, qui maintient la structure et une relative aération de l'horizon superficiel. La « marmorisation », quoiqu'existant en A₂, est moins accentuée. Il semble alors plus logique de parler de : *pseudogley mésotrophe sur fragipan*.

IV. — LES PROCESSUS DE DÉGRADATION DES STATIONS

Nous sommes à présent arrivés au terme de notre étude statique des stations. Nous connaissons la structure et la composition du peuplement végétal, les caractéristiques physiques et chimiques des sols, ainsi que leur morphologie; nous avons même esquissé le bilan hydrique global des principaux types de stations.

En possession de ces éléments, il nous est maintenant possible de les confronter afin, d'une part de saisir la façon dont les divers types de stations ont pu, au cours des temps, dériver les uns des autres, d'autre part de déceler les causes et les mécanismes de ces évolutions.

Naturellement, l'évolution peut être, soit *régressive*, c'est-à-dire qui s'éloigne du climax (*dégradation*), soit *progressive*, orientée vers le climax (*regradation*).

Nous développerons essentiellement le premier aspect de la question, les processus de dégradation des stations climaciques — ou paraclimaciques —, avant d'évoquer plus sommairement les possibilités de « regradation ».

4.1. — Discussion du tableau floristique (tableau I)

Parmi les espèces de référence retenues pour les études stationnelles détaillées, seules *Molinia coerulea* et *Carex brizoides* connaissent couramment, en forêt de Charmes, un développement tel qu'elles couvrent en totalité le sol, de façon très dense et quasi-exclusive. Sur le plan écologique, nous avons vu que ces formations caractérisaient des sols particulièrement hydromorphes.

Deschampsia coespitosa, *Luzula albida* et *Poa chaixi*, par contre, dans les milieux étudiés, ne forment jamais de tapis continus monospécifiques. Aucune de ces espèces ne saurait y constituer un obstacle réel à la régénération des essences ligneuses. Les stations à Canche cespiteuse, elles-mêmes, bien qu'elles caractérisent des sols très engorgés — mais ils sont plus riches chimiquement et dotés d'une activité biologique intense —, comptent parmi les plus satisfaisantes en ce qui concerne l'état du couvert forestier (et — nous le verrons par la suite — sa productivité).

Le tableau 1, qui indique la composition floristique de chacune des 29 placettes d'étude, a été construit à la façon d'un tableau phytosociologique classique. L'objectif poursuivi était de mettre en évidence, sur le plan floristique, la réalité des divers types de stations étudiés, et, surtout, de voir comment se concrétisait la dégradation des groupements initialement en équilibre (climaciques ou paraclimaciques).

Au sommet du tableau, se trouve le groupement à *Deschampsia coespitosa*, riche en espèces, dont beaucoup sont des neutrophiles affirmées. La strate ligneuse — concrétisation des observations du § 142 — est à base de Chêne pédonculé, de Charme et, à un degré moindre, de Frêne. Hêtre et Chêne sessile y font totalement défaut. En fait, ce groupement est proche de l'association du *Querceto-Carpinetum* des phytosociologues. Dans la suite du texte, nous parlerons de Chênaie pédonculée à *Deschampsia coespitosa*.

A l'autre extrémité du tableau, figure le groupement à *Luzula albida*, fondamentalement différent. Il est moins riche en espèces, dont la plupart sont des acidophiles plus ou moins strictes. Le Chêne pédonculé y est pratiquement absent, remplacé par le Hêtre et le Chêne sessile. Nous verrons (§ 6 222) comment la place du Hêtre, primitivement, devait être plus importante. Ce groupement appartient au *Luzulo-Fagetum*; nous l'appellerons Hêtraie (-Chênaie sessile) à *Luzula albida*.

A tous points de vue, le groupement à *Poa chaixi* apparaît intermédiaire entre les deux précédents, tant pour la nature des ligneux productifs que pour la composition de la flore accompagnatrice. On y trouve, tantôt le Chêne pédonculé, tantôt le Sessile et le Hêtre, tantôt les trois essences en mélange. Remarquons, pour la suite de l'exposé, que le Hêtre, même lorsqu'il est absent en strate arborescente, existe pratiquement toujours en strate arbustive ou herbacée. Ce groupement semble pouvoir être rattaché au *Quercetum sessiliflorae* variante *Quercetosum pedunculatae*. Selon les cas, on parlera de Chênaie pédonculée, ou de Chênaie sessile (-Hêtraie), à *Poa chaixi*.

Les groupements de dégradation apparaissent au centre du tableau. Le phénomène se traduit par la disparition d'un grand nombre d'espèces, — partiellement remplacées par des essences typiquement héliophiles-hygrophiles (Mélangier, Bouleau, Jonc, Bourdaine, Agrostis, Houlque molle, etc...). On observe deux groupements de dégradation principaux : la Chênaie pédonculée à *Carex brizoides* et la Chênaie sessile (-Hêtraie) à *Molinia coerulea*; on peut y adjoindre, semble-t-il, une forme moins courante, la Chênaie pédonculée à *Molinia coerulea*.

L'intérêt de ce tableau est de permettre des hypothèses solides sur les processus de dégradation du peuplement végétal.

Schématiquement, il est permis d'avancer que la Chênaie sessile (-Hêtraie) à *Molinia coerulea* est la forme de dégradation, tantôt de la Hêtraie (-Chênaie sessile) à *Luzula albida*, tantôt de la Chênaie sessile (-Hêtraie) à *Poa chaixi*. On peut d'ailleurs imaginer — sans parler

de dégradation au sens strict, mais plutôt d'évolution régressive — que la Chênaie sessile (-Hêtraie) à *Poa chaixi* ne soit qu'une forme « paraclimacique » dérivant, sous l'influence du traitement ancestral en taillis-sous-futaie, de la Hêtraie à *Luzula albida*.

La Chênaie pédonculée à *Carex brizoides*, elle, serait la forme dégradée, tantôt de la Chênaie pédonculée à *Deschampsia coespitosa*, tantôt de la Chênaie pédonculée à *Poa chaixi*. Elle ne serait d'ailleurs pas le stade ultime de ce processus de dégradation. Par appauvrissement et acidification progressifs, on pourrait passer à la Chênaie pédonculée à *Molinia coerulea*, qui ne serait elle-même qu'une forme de transition; par changement progressif de l'essence dominante, on aboutirait à la Chênaie sessile à *Molinia coerulea*, qui apparaîtrait donc, dans tous les cas, comme le stade ultime de la dégradation.

4.2. — Évolution conjointe de la végétation et des sols

En confrontant ces observations avec les résultats obtenus au cours des chapitres précédents et relatifs à l'étude des sols, il est possible de bâtir un schéma résumant l'évolution régressive conjointe de la végétation (ligneuse et herbacée) et des sols (fig. 4).

Il y aurait, sur le plan végétal, trois groupements climaciques (et un « paraclimacique », proche du climax) correspondant à trois types de roche mère :

— un « limon argileux chimiquement riche » :

il s'agit des argiles vertes du Muschelkalk, profondément polluées par un limon éolien abondant. Le taux de saturation est élevé (environ 50 %; cf. § 32). Le climax est alors la Chênaie pédonculée à *Deschampsia coespitosa* sur pseudogley mésotrophe à hydromull.

— un « limon ou limon argileux acide » :

en profondeur on a le matériau argileux acide. Celui-ci s'est trouvé recouvert de limon éolien; lorsque ce dernier est resté bien individualisé en surface, le taux de saturation est très faible (7 %), et l'on observe aujourd'hui le groupement climacique typique, à savoir la Hêtraie à *Luzula albida* (sur sol brun acide à moder). Lorsque le limon a été mélangé au matériau plus argileux sous-jacent (par cryoturbation), le taux de saturation est plus élevé (15 %); il s'est alors constitué, sous l'influence du traitement, la forme paraclimacique dérivée, c'est-à-dire la Chênaie sessile (-Hêtraie) à *Poa chaixi*, sur sol brun acide à mull.

— un « limon argileux moyennement riche » :

il s'agit d'un substrat proche du précédent, mais qui, du fait de remontées en provenance d'un Muschelkalk peut-être plus proche de la surface, ou d'apports latéraux, se trouve un peu plus riche sur le plan chimique. On a alors la Chênaie pédonculée à *Poa chaixi*, sur sol brun acide à mull.

4.3. — Les mécanismes de l'évolution régressive

Lors de l'étude des causes écologiques des divers régimes hydriques observés (cf. § 23), nous avons mis en évidence l'importance fondamentale de l'état du couvert ligneux, de sa structure. Les conditions les plus défavorables sont, non les grandes zones vides d'arbres, mais les peuplements très clairsemés, à arbres épars délimitant de petites trouées d'où les arbustes sont absents. L'évapotranspiration potentielle de ces stations est en effet considérablement plus faible que celle des peuplements pleins; elle s'avère incapable d'éliminer une

part suffisante des apports d'eau atmosphérique — eux-mêmes légèrement supérieurs à ceux des stations non dégradées — et entraîne un engorgement important des sols.

Secondairement, le tassement des divers horizons, consécutif à la dégradation de leur structure sous l'influence de l'engorgement, vient accentuer encore les phénomènes d'hydromorphie.

Ces stations sont donc éminemment fragiles par nature, mais la responsabilité de l'Homme est capitale dans le déclenchement, et l'entretien, des mécanismes de la dégradation.

Les abus d'exploitation et, surtout, le principe même du traitement en taillis-sous-futaie sont les responsables premiers. Celui-ci, en effet, à l'occasion de la coupe du taillis, crée artificiellement les conditions hautement défavorables évoquées plus haut.

Imaginons que le point de départ soit un taillis-sous-futaie en excellent état. La coupe du taillis a pour conséquence immédiate une remontée importante des nappes.

Si la densité des « réserves » laissées sur pied est suffisante et les jeunes baliveaux issus de semis assez abondants, ou si, du fait d'une richesse minérale supérieure du sol, l'activité biologique de l'humus est intense (exemple : stations à Canche cespiteuse), on peut espérer que le couvert ligneux se referme assez rapidement pour stopper le processus néfaste.

Par contre, si, sur un substrat plus pauvre par nature, le balivage est, de longue date, insuffisant, la remontée des nappes est plus importante et plus longue. Les conditions deviennent beaucoup plus défavorables au rejet de souches du taillis et aux semis des essences ligneuses. Le sous-bois devient propice à la colonisation par des espèces herbacées sociales

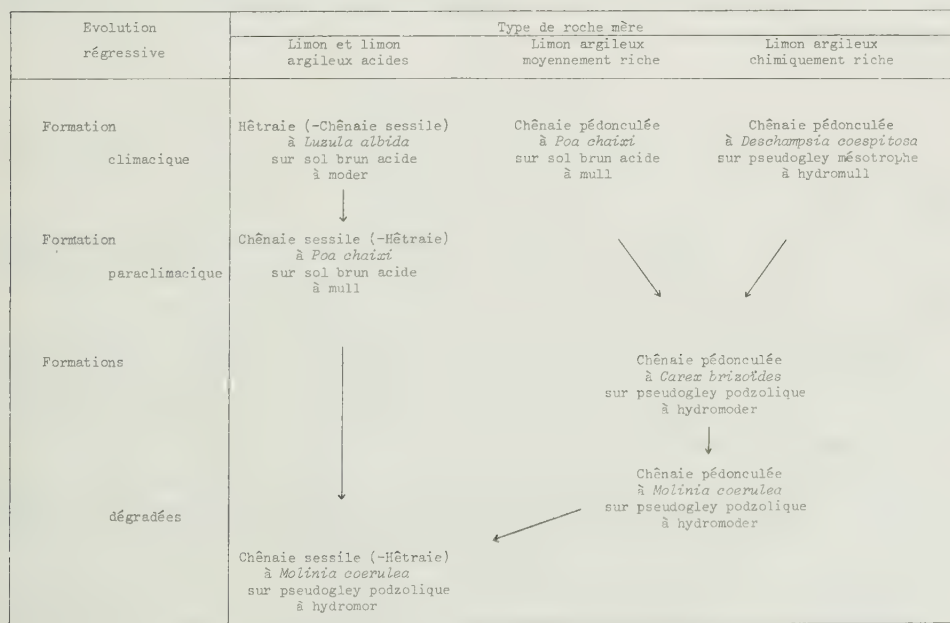


FIG. 4. — Les divers processus d'évolution régressive des stations

FIG. 4. — The different processes of regressive evolution of the stands

telles que *Molinia coerulea* ou *Carex brizoides* (selon l'intensité de l'hydromorphie et la richesse du sol).

Étant donnée la fréquence des passages en coupe du taillis (tous les 26 ans avant 1869, 30 ans ensuite), celui-ci, peu à peu, n'a plus le temps de se reconstituer de façon satisfaisante. Les espèces sociales s'implantent de façon définitive. Du point de vue édaphique, l'humus est le premier élément dont l'évolution est visible : du mull acide ou du moder forestier, il se transforme en hydromoder.

On comprend alors qu'une fois le processus enclenché, il ne puisse que s'accélérer. Le tapis herbacé se développe, constituant un obstacle supplémentaire grandissant à la régénération des ligneux.

Le balivage devient problématique et le nombre des réserves va donc en s'amenuisant; faute de remplaçantes, elles doivent être menées jusqu'à un grand âge, et leur fertilité peut alors être mise en doute. A défaut d'autre chose, le forestier est même amené à les laisser remplacer par des essences secondaires (Charme, Bouleau, Tremble).

Parallèlement, sous l'influence des conditions d'hydromorphie prolongée et de l'humus défavorable qui s'est développé, les horizons superficiels du sol ont pu évoluer : dégradation de la structure et tassement des horizons superficiels (qui ne fait qu'exacerber l'engorgement); entraînement du fer et décoloration de l'horizon A_{2g} ; élaboration d'un horizon B_1 à marmorisation tachetée contrastée, dans lequel de nombreuses concrétions nouvelles viennent s'ajouter aux concrétions fossiles. L'horizon de fragipan profond conserve le même aspect.

Le stade ultime de la dégradation observé en forêt de Charmes est une Chênaie à strate arbustive absente, à tapis herbacé dense de Molinie, quasi-monospécifique, sur pseudogley podzolique à hydromor (sur fragipan).

4.4. — Possibilités de regradation

Les sols qui apparaissent aujourd'hui les plus dégradés, soumis de très longue date à des conditions d'hydromorphie extrêmes, peuvent-ils subir une évolution inverse et retrouver l'aspect et les propriétés des sols actuellement les plus favorables?

PLAISANCE (1965) estime qu'une « démarmorisation » est possible sous certaines conditions (exposition à l'air, alternatives d'humectation et de dessiccation, de chaud et de froid, pénétration de matière organique jouant le rôle d'agent de liaison).

Pour notre part, nous pensons également que la « regradation » des sols les plus hydromorphes est possible. Un certain nombre d'indices laissent même à penser que certains profils ont connu, au cours de leur évolution « récente », plusieurs phases successives de dégradation et de regradation.

En effet, la plupart des profils qui apparaissent aujourd'hui les mieux drainés, comportent, dans l'horizon A_2 , parfois très haut, et en tous cas dans une zone que les nappes n'atteignent plus, des concrétions plus ou moins nombreuses, plus ou moins irrégulières, qui ne semblent pas provenir de l'horizon de fragipan.

Certains profils sont encore plus ambigus, comme s'ils sortaient à peine d'une période d'hydromorphie accusée. L'humus est difficilement identifiable et comporte beaucoup des caractères de l'hydromoder. L'horizon A_2 est encore nettement un A_{2g} , bien décoloré, parfois même avec des restes de taches rouille; la marmorisation de l'horizon B_1 est

encore bien contrastée. En fait, l'indice le plus probant de sol sain est la végétation herbacée, dominée par *Poa chaixi* ou *Luzula albidula*.

Quels pourraient être les processus de regradation des sols — et des stations en général —? Seules des hypothèses nous sont permises, difficilement vérifiables.

Sans aller jusqu'à imaginer que la période de révolution du taillis soit suffisamment longue pour que le profil ait le temps d'évoluer de sa forme climacique à sa forme dégradée pour revenir à sa forme regradée, on pourrait penser à un processus plus lent (à l'échelle du siècle peut-être). Constatant la ruine de certaines zones, l'homme aurait pu s'y abstenir de toute exploitation pendant plusieurs révolutions.

Dans cette hypothèse, les trouées à *Molinia coerulea* ou à *Carex brizoides* peuvent être lentement colonisées par des ligneux « mineurs », hygro-tolérants, tels que la Bourdaine, les Bouleaux verruqueux et pubescent, le Tremble, le Saule Marsault. Leur feuillage fait peu à peu régresser la Molinie (espèce fortement sciafuge, nous l'établirons au cours du paragraphe suivant); parallèlement, évapotranspiration et taux d'interception des pluies augmentent. Le Noisetier, puis le Charme, le Chêne, le Hêtre, peuvent alors venir compléter le peuplement. Lorsque celui-ci est complet, nous savons que le niveau moyen des nappes doit avoir baissé.

Conjointement à l'aération, nous savons comment peuvent s'améliorer l'activité biologique, la structure et le type d'humus. La macroporosité des horizons augmente. La faune reconstituée peut participer activement au brassage des horizons superficiels, amenant leur recoloration, leur « brunification »; les taches rouille du A_2g disparaissent; la marmorisation du B_1 s'estompe et peut même s'effacer. Seules subsistent les concrétions ferromanganiques, beaucoup plus difficiles à résorber.

V. — CONTRIBUTION A LA CONNAISSANCE DE L'AUTÉCOLOGIE DES ESPÈCES HERBACÉES DE RÉFÉRENCE

Les résultats présentés au cours des paragraphes précédents ont montré l'intérêt considérable que présentaient les espèces herbacées prises comme référence lors de la définition des types de stations, en tant qu'indicatrices des conditions de milieu.

Parmi les résultats qui se rapportent à leur écologie, les plus intéressants concernent leur valeur indicatrice vis à vis du régime hydrique des sols. En toute logique, ces résultats ne sont que des corrélations; pour savoir dans quelle mesure ce sont également de véritables liaisons de cause à effet, il est nécessaire de passer à l'expérimentation.

C'est ce que nous avons tenté, à l'aide d'un dispositif de culture en milieu semi-artificiel. Celui-ci a été conçu de façon à pouvoir contrôler, en plus du régime hydrique, l'effet de divers éclaircissements (exigences photiques), et à étudier en outre le pouvoir compétitif relatif des cinq espèces dans les diverses situations écologiques ainsi recréées.

Nous ne décrivons que très succinctement le dispositif et nous ne ferons que résumer les conclusions qu'il a permis de formuler après 3 et 4 ans d'expérimentation ¹.

1. Un exemplaire du travail complet, dont les démonstrations s'appuient sur de nombreuses photographies comparatives, pourra être adressé au lecteur intéressé.

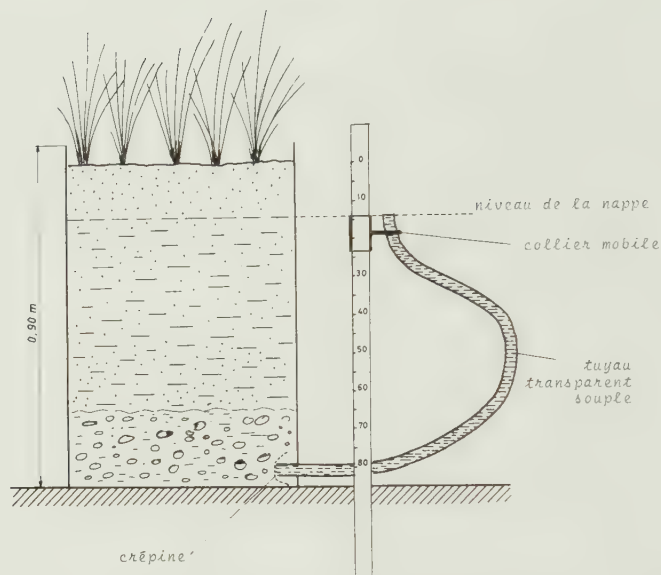


FIG. 5. — Schéma de la case de culture
FIG. 5. — Scheme of the culture container

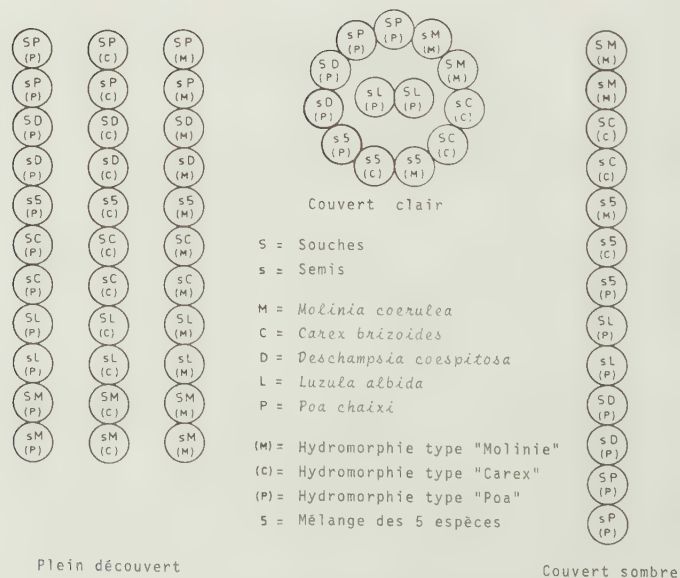


FIG. 6. — Schéma du dispositif expérimental
FIG. 6. — Scheme of the experimental device

La case de culture unitaire est décrite par la figure 3. Elle permet d'ajuster, toutes les semaines, une nappe artificielle au niveau souhaité. Il existe trois modalités de nappes, correspondant chacune à la moyenne des niveaux observés régulièrement en forêt de Charmes dans les stations à *Molinia*, à *Carex* et à *Poa*.

Trois modalités d'éclairement ont en outre été prévues : plein découvert, couvert clair, couvert sombre.

Les espèces ont été installées, d'une part sous forme de souches, d'autre part sous forme de semis.

La figure 6 schématise l'ensemble du dispositif expérimental utilisé (59 cases de culture).

Les résultats, synthétisés ci-dessous, ont montré que le degré d'éclairement joue un rôle au moins aussi important que le niveau d'engorgement dans l'explication de la répartition des espèces étudiées.

En forêt, ces deux variables écologiques sont d'ailleurs toujours plus ou moins étroitement liées, si bien que les inventaires phyto-écologiques seuls, basés sur de simples observations, ne peuvent souvent départager leurs influences respectives sur la répartition des espèces. L'expérimentation est indispensable.

En résumé, voici, pour chacune des variables étudiées — et *dans les limites des gradients observés* — les quelques résultats obtenus au cours de l'étude concernant l'autécologie des cinq espèces :

Molinia coerulea

- espèce d'humus de type hydromoder à hydromor,
- fortement héliophile et sciafuge,
- fortement hygrotolérante (et non hygrophile *stricto sensu*),
- très fortement compétitive, mais en plein découvert seulement.

Carex brizoides

- espèce de l'hydromoder,
- héliophile légèrement sciatolérante,
- nettement hygrophile et xérofuge,
- très peu compétitive au stade semis.

Deschampsia coespitosa

- espèce du mull ou hydromull,
- héliophile nettement sciatolérante,
- dotée d'une large amplitude hydrique,
- fortement compétitive (sauf face à la Molinie en plein découvert).

Luzula albida

- espèce du moder,
- légèrement héliophile et largement sciatolérante,
- fortement hygrofuge,
- très peu compétitive au stade semis.

Poa chaixi

- espèce du mull acide,
- plutôt sciaphile, et en tout cas fortement sciatolérante,
- assez nettement hygrofuge (mais bien moins que la *Luzule*),
- moyennement compétitive au stade semis, mais seulement lorsqu'elle se trouve à son optimum écologique.

VI. — ÉTUDE SYLVICOLE ET CONCLUSIONS PRATIQUES POUR LA GESTION DU MASSIF

Chaque placette a fait l'objet d'un levé précis, avec la position exacte de toutes les « réserves ». La plupart d'entre elles (environ une dizaine par placette) ont été numérotées de façon indélébile sur le terrain et ont fait l'objet d'une série de mesures, dont les résultats vont être évoqués dans le présent paragraphe.

6.1. — Répartition des essences ligneuses nobles

Elle transparait déjà dans le tableau 1. De façon plus précise, voici les pourcentages observés pour les 261 réserves numérotées :

Stations à	Chêne sessile	Chêne pédonculé	Hêtre
<i>Molinia</i>	61,5 %	28,9 %	9,6 %
<i>Carex</i>	1,0 %	98,8 %	0,2 %
<i>Deschampsia</i>	5,0 %	95,0 %	0,0 %
<i>Luzula</i>	38,3 %	2,0 %	59,7 %
<i>Poa</i>	15,1 %	56,8 %	28,1 %

6.2. — Les indices de productivité en volume

6.2.1. Accroissement moyen annuel sur le rayon.

Les mesures ont été faites sur des carottes prélevées à la tarière de PRESSLER dans chacune des réserves numérotées. Chaque arbre a fait l'objet de deux sondages diamétralement opposés, à 1,30 au-dessus du sol.

Résultats concernant le Chêne :

Ils sont les suivants :

Stations à <i>Molinia coerulea</i>	1,31 mm
Stations à <i>Carex brizoides</i>	1,35 mm
Stations à <i>Deschampsia coespitosa</i>	1,63 mm
Stations à <i>Luzula albida</i>	1,62 mm
Stations à <i>Poa chaixi</i>	1,54 mm
Moyenne sur l'ensemble des stations	1,51 mm

La faiblesse générale de ces chiffres, en premier lieu, ne manque pas de frapper. La forêt, dans son ensemble, n'est pas très productive.

Les stations à *Molinie* s'avèrent donc les plus défavorables; les différences observées avec les autres stations sont statistiquement significatives.

Les stations à Canche et à *Luzule* apparaissent les plus intéressantes.

Résultats concernant le Hêtre :

Le Hêtre est absent des stations à *Carex* et à *Deschampsia*. Il n'a donc été permis de comparer que les trois autres types :

Stations à <i>Molinia coerulea</i>	1,86 mm
Stations à <i>Luzula albida</i>	2,69 mm
Stations à <i>Poa chaixi</i>	2,80 mm
Moyenne pour l'ensemble des 3 stations.....	2,58 mm

Le Hêtre présente donc des performances très supérieures à celles du Chêne (près du double), même dans les stations qui vont se confirmer être les plus défavorables.

Une fois de plus, les stations à *Molinia* sont, de très loin, les plus médiocres. La différence *Luzula-Poa* n'est pas statistiquement significative.

6.22. Age et hauteur des réserves.

On sait qu'à partir d'un certain âge (130 à 150 ans pour le Chêne et le Hêtre), les arbres, s'ils continuent à croître en diamètre, ne poussent pratiquement plus en hauteur. En futaie, il est aujourd'hui bien établi que cette hauteur maximum atteinte est en corrélation étroite avec la potentialité-production de la station. Nous espérons qu'il en est de même en taillis-sous-futaie, mais nous ne pourrions traduire ces hauteurs en volume de bois produit.

Il est donc nécessaire, pour tirer parti des mesures de hauteurs que l'on fait, soit d'être sûr que tous les arbres ont dépassé l'âge de 140 ans, soit de pouvoir apprécier leur âge avec suffisamment de précision pour envisager une correction.

C'est cette appréciation que nous avons tentée; si C est la circonférence à 1,30 m et a l'accroissement sur le rayon au cours des 30 dernières années (période égale à une révolution du taillis), l'âge N d'une réserve est :

$$N = \frac{C \cdot 30}{2\pi a}.$$

Résultats concernant le Chêne :

Nous avons calculé la moyenne des hauteurs des réserves ayant plus de 140 ans, et obtenu les valeurs suivantes :

Stations à <i>Molinia coerulea</i>	21,38 m
Stations à <i>Carex brizoides</i>	23,21 m
Stations à <i>Deschampsia coespitosa</i>	24,80 m
Stations à <i>Luzula albida</i>	24,75 m
Stations à <i>Poa chaixi</i>	24,02 m

On retrouve sensiblement le même classement qu'en utilisant le critère « accroissement moyen annuel », et, cette fois, les résultats sont statistiquement encore plus significatifs et mettent nettement en évidence trois classes de fertilité correspondant à trois catégories de stations : *Molinia* (21,4 m); *Carex* (23,2 m); *Deschampsia*, *Luzula* et *Poa* (24,5 m en moyenne).

Les chiffres exposés concernent le Chêne au sens large, sans distinction d'espèces. La comparaison des deux espèces sur l'ensemble des stations n'aurait en effet guère de sens, puisque leur répartition correspond à des territoires écologiques différents.

Il est par contre possible d'envisager une comparaison, sur le plan de la potentialité production, du Chêne sessile et du Chêne pédonculé dans les stations où les deux essences sont représentées dans des proportions appréciables, à savoir dans les stations à *Molinia* et à *Poa chaixi*.

Stations à <i>Molinia</i> <i>coerulea</i>	Chêne sessile (68 %)	22,42 m
	(âge > 140 ans)	
	Chêne pédonculé (32 %)	20,33 m
Stations à <i>Poa chaixi</i>	Chêne sessile (21 %)	25,72 m
	(âge > 140 ans)	
	Chêne pédonculé (79 %)	23,81 m

Dans ces stations, la bonne comme la médiocre, le Chêne sessile l'emporte donc très nettement sur le Pédonculé. Ce résultat méritera d'être confirmé et précisé par ailleurs à l'aide d'études plus complètes, afin de tester sa valeur générale; mais il constitue dès à présent un élément d'information d'un intérêt certain.

Résultats concernant le Hêtre :

Les calculs effectués ont montré une étonnante jeunesse du Hêtre. En moyenne, les réserves observées sont presque moitié moins âgées que celles de Chêne (92 ans contre 171 ans), alors que, par contre, les diamètres moyens sont pratiquement identiques (Chêne 49,4 cm, Hêtre 48,7 cm).

Aucune des réserves de Hêtres, pratiquement, n'a atteint l'âge de 130 ans, et les graphiques que nous avons construits montrent nettement que leur croissance en hauteur n'est pas terminée.

Pour envisager, de façon un peu valable, une comparaison avec les chiffres concernant le Chêne, il est nécessaire d'extrapoler, à vue, les courbes moyennes de croissance au-delà de 140 ans. Les chiffres de 26 m pour les stations à *Molinia*, de 32 m pour *Luzula* et de 29 m pour *Poa chaixi* peuvent alors être raisonnablement avancés.

Ils confirment de façon éclatante, s'il en était besoin, les performances très supérieures du Hêtre par rapport au Chêne, dans toutes les stations où les deux essences coexistent. A diamètre égal (49 cm), le Chêne a 162 ans et 23,5 m de haut, et le Hêtre 92 ans et 26,2 m de haut...

On ne manquera pas, par ailleurs, de s'interroger sur les raisons de l'étonnante jeunesse du Hêtre dans cette forêt. On peut imaginer deux explications à ce phénomène :

— Pendant des siècles, le Chêne a été considéré comme la seule essence noble, et a fait l'objet d'une nette sélection, alors que le Hêtre était, souvent, vigoureusement pourchassé

(PLAISANCE, 1950). De plus, le traitement en taillis-sous-futaie par lui-même semble bien avoir défavorisé cette essence par rapport au Chêne. Cette volonté délibérée a cessé depuis un siècle environ, et il est fort possible que l'on assiste actuellement, de façon naturelle, à une sorte de retour aux conditions initiales, plus proches du « climax ». Cette explication est très vraisemblable. Si elle est exacte, la situation actuelle est donc transitoire.

— Le phénomène observé, cependant, est d'une telle netteté que celle-ci en devient troublante. Et l'on est en droit de se demander si les forestiers qui ont eu à gérer successivement ce massif depuis le début du retour en force du Hêtre, n'ont pas sous-estimé les potentialités de cette essence, les assimilant plus ou moins consciemment à celles du Chêne. En taillis-sous-futaie, en effet, les réserves sont d'âges très variables et non connus. Contrairement à ce qui se passe en régime de futaie, où chaque parcelle a un âge relativement bien précisé, les arbres — les réserves — sont donc prélevés en fonction du diamètre atteint. Si les valeurs adoptées pour le Chêne ont été étendues au Hêtre (ce que peut laisser penser l'identité des diamètres moyens chez les deux essences), la situation actuelle peut également s'expliquer aisément. Elle serait alors stable, et le resterait si aucun changement du diamètre d'exploitabilité n'était décidé pour le Hêtre. Sur le plan sylvicole, ceci serait regrettable, car ces arbres continueraient d'être exploités en pleine croissance, alors qu'ils pourraient fournir des gros bois fort appréciés.

Il est fort probable d'ailleurs, que ces deux explications ont contribué, conjointement, à l'instauration de l'état de fait observé aujourd'hui.

6.3. — *Les indices de la qualité des bois*

Les méthodes non destructives, sur arbres vivants, d'appréciation des qualités technologiques sont rares. Récemment, la Station de Recherches sur la Qualité des Bois du C.N.R.F. a mis au point une technique séduisante par sa simplicité et l'intérêt des résultats qu'elle fournit (POLGE, KELLER, 1970).

Cette technique est basée sur l'utilisation d'un « torsiomètre », qui sert à mesurer le couple nécessaire pour faire tourner une tarière de Pressler, à une profondeur donnée, dans un arbre. Les auteurs ont montré que les valeurs ainsi obtenues sont en corrélation assez étroite avec la densité du bois, elle-même sous la dépendance d'une combinaison de plusieurs caractéristiques mécaniques.

Les 261 réserves numérotées ont donc fait l'objet de deux mesures (tarière de 20 cm pour bois durs; technique dite du « couple démarrage profond »). Puis la densité réelle des carottes prélevées a été mesurée, permettant ainsi d'évaluer la corrélation existant entre ces deux données dans le cas des feuilles.

L'équation de régression calculée est la suivante :

$$d = 0,83 C + 322 \quad r = 0,68$$

(d = densité en g/dm^3 ; C = couple de torsion en cm.kg).

Résultats concernant le Chêne :

Ils sont les suivants (Chênes sessile et pédonculé réunis) :

Stations à *Molinia coerulea* , $d = 509 \text{ g/dm}^3$

Stations à <i>Carex brizoides</i> ,	d = 488 g/dm ³
Stations à <i>Deschampsia coespitosa</i>	d = 480 g/dm ³
Stations à <i>Luzula albida</i> ,	d = 505 g/dm ³
Stations à <i>Poa chaixi</i>	d = 479 g/dm ³

Les tests statistiques qui ont porté sur ces moyennes permettent de définir deux groupes de stations significativement différentes : les stations à *Poa*, *Deschampsia* et *Carex* (densité moyenne de 483 g/dm³), dont les bois seraient plus tendres — donc, en principe, plus appréciés — que ceux des stations à *Luzula* et à *Molinia* (densité moyenne de 507 g/dm³).

Constatons que si, à ce point de vue encore, les stations à *Molinia* sont les moins favorables, les stations à *Carex brizoides*, par contre, si elles comptent parmi les moins intéressantes sur le plan de la production-volume, ne subissent pas de dépréciation quant à la qualité des bois produits.

Nous n'avons décelé aucune différence significative entre Sessile et Pédonculé dans les types où les deux essences sont représentées. Seule la station joue donc un rôle dans la qualité des produits obtenus. Nous rejoignons en cela l'opinion de J. VENET (1962) : « Au point de vue de l'aspect, aussi bien que des propriétés physiques, mécaniques et technologiques du bois, l'influence de la station et du traitement est souvent beaucoup plus grande, d'ailleurs, que celle de l'essence ».

Résultats concernant le Hêtre :

Ils sont les suivants :

Stations à <i>Molinia coerulea</i>	d = 547 g/dm ³
Stations à <i>Luzula albida</i>	d = 540 g/dm ³
Stations à <i>Poa chaixi</i>	d = 526 g/dm ³

Aux stations manquantes près (le Hêtre y est absent), on retrouve le même classement que pour le Chêne, c'est-à-dire que les bois des stations à *Poa* sont significativement plus tendres que ceux des stations à *Molinia* et à *Luzula* (pour lesquels l'écart n'est pas significatif : densité moyenne : 541 g/dm³).

6.4. — Mesures pratiques préconisées pour l'assainissement et l'amélioration du massif

6.41. Mode de traitement et essences à favoriser.

Comme essences productives, nous n'envisagerons, volontairement, que celles croissant spontanément dans le massif de Charmes. Mais cela ne signifie pas que nous préconisions leur utilisation de façon systématique sur l'ensemble du massif. Il appartient au gestionnaire de tenir compte, d'une part des éléments d'information que notre étude aura pu lui apporter, d'autre part aussi du contexte socio-économique, pour décider de l'avenir des diverses stations (maintien du système actuel, adoption de certaines de nos suggestions, enrésinement, etc...).

Du point de vue du mode de traitement, on ne peut que préconiser de revenir aux conseils de l'aménagiste de 1869 (cf. 1^{re} partie, § 21), c'est-à-dire la conversion en futaie pleine sur l'ensemble du massif; le taillis-sous-futaie, en effet, s'est avéré particulièrement mal adapté dans la grande majorité des cas, au substrat. Naturellement, selon l'état actuel des peuplements, cette conversion sera plus ou moins longue et difficile à obtenir.

Utilisation du Hêtre :

Nous avons vu que la productivité du Hêtre était très supérieure à celle du Chêne, et ce, dans tous les types de stations où il a été trouvé, y compris les plus hydromorphes. Ses qualités technologiques étant, par ailleurs, aux dires des utilisateurs, satisfaisantes, on ne peut qu'encourager l'actuel gestionnaire du massif dans son intention de le favoriser au maximum.

Il devrait pouvoir devenir l'essence dominante dans toutes les stations actuellement caractérisées par *Luzula albidula*, *Poa chaixii* et même *Molinia caerulea* (après assainissement).

Utilisation du Chêne :

Nous avons vu que la répartition des deux espèces, Sessile et Pédonculé, qui coexistent en forêt de Charmes, dépend de façon étroite des types de stations; l'étude détaillée de ces stations a permis d'apporter quelques précisions intéressantes sur leurs caractéristiques écologiques.

Nous sommes en particulier amenés à remettre en cause une opinion couramment admise concernant leur comportement respectif vis à vis du facteur alimentation en eau. Le Chêne pédonculé, en effet, est considéré comme nettement plus hygrophile que le Sessile, qui exigerait des sols bien drainés.

Il semble qu'il n'en soit rien, le Sessile semblant être même plus hygrotolérant que le Pédonculé. En fait, il apparaît que la richesse minérale du sol, beaucoup plus que la teneur en eau — à condition toutefois que celle-ci ne pêche pas par défaut — discrimine les deux essences; le Pédonculé — caractéristique d'ailleurs classique — s'avère plus exigeant que le Sessile.

Le Chêne pédonculé devrait demeurer l'essence principale dans les stations caractérisées actuellement par *Deschampsia caespitosa* ou *Carex brizoides*. On aurait également intérêt à y maintenir, ou à y obtenir l'installation d'une certaine proportion de tiges d'essences secondaires, telles que le Frêne, l'Érable sycomore, le Merisier...

Le Chêne sessile sera utilisé en complément du Hêtre dans tous les autres types de stations : à *Luzula albidula*, à *Poa chaixii*, à *Molinia caerulea*. Dans la plupart de ces stations, il prédomine déjà sur le Chêne pédonculé, et il sera préféré à ce dernier en raison de sa productivité supérieure.

6.42. Assainissement et lutte contre les espèces sociales.

Pour guider l'intervention du gestionnaire, la répartition des espèces sociales telles que *Molinia caerulea* et *Carex brizoides*, est importante à considérer, pour deux raisons :

- elles caractérisent des stations extrêmement défavorables sur le plan de l'hydromorphie et serviront à l'établissement d'un plan d'assainissement du massif,
- elles constituent en elles-mêmes, dans beaucoup de stations, un obstacle très réel à la régénération, par un haut pouvoir de concurrence vis-à-vis des semis.

Assainissement du massif :

Il s'agit d'intervenir pour diminuer la hauteur et la durée des nappes perchées temporaires.

Les observations que nous avons effectuées (cf. § 2) montrent qu'un moyen très sûr réside dans le rétablissement d'un couvert forestier complet, les sols des stations actuellement

les plus hydromorphes n'étant pas intrinsèquement plus défavorables que ceux des stations mieux drainées (cas des stations à Canche mis à part).

Ce sera une opération de longue haleine, dont le processus naturel a déjà été évoqué dans le paragraphe 44.

Parallèlement, pour accélérer initialement le processus, on peut imaginer de recourir au drainage artificiel, dans les stations les plus hydromorphes.

Avant nos observations, il y avait lieu d'hésiter à utiliser le drainage, remède qui risquait d'être pire que le mal. En effet, en règle générale, les sols à pseudogley, engorgés en saison humide, sont classiquement considérés comme extrêmement secs en été; l'excès d'eau prélevé en saison humide par un éventuel drainage n'aurait donc fait qu'accentuer le déficit hydrique en période estivale.

En fait, au moins pour le type de substrat étudié, nos mesures ont prouvé le contraire (cf. § 22). Les stations les plus engorgées en hiver et au printemps demeurent les plus humides le restant de l'année, même pendant les périodes de sécheresse extrême. On dispose donc d'une marge de sécurité importante pour l'évaluation des quantités d'eau à éliminer par drainage en phase humide. L'« effort de drainage » dans les stations à *Molinia coerulea* devra être bien supérieur à celui des stations à *Carex brizoides*. Le réseau est en cours d'installation en forêt de Charmes.

Lutte contre Molinia coerulea et Carex brizoides :

Nous avons mis en évidence, par voie expérimentale (cf. § 5), que la Molinie est une espèce *hygrotolérante*, beaucoup plus qu'une hygrophile. Il en résulte qu'il ne faut pas espérer qu'un drainage, en lui-même, sera d'une aide directe quelconque pour la faire régresser.

Nous avons vu, par contre, qu'elle a un caractère sciafuge très affirmé. On peut donc avoir la certitude, mais à long terme, de la voir disparaître au fur et à mesure que s'opérera la lente reconquête des vides évoqués dans le paragraphe précédent.

Si l'on désire redresser rapidement la situation — par exemple avant d'installer une plantation — il faudra avoir recours aux herbicides. Mais, dans ce cas, il est impératif d'associer le drainage au traitement chimique; sinon la suppression du couvert herbacé, par diminution brutale et importante de l'évapotranspiration, ne ferait qu'exacerber l'hydromorphie.

Le caractère sciafuge, chez *Carex brizoides*, est beaucoup moins accentué que chez *Molinia coerulea*. Si l'espoir de le faire disparaître avec la reconstitution du couvert ligneux demeure, l'échéance en serait certainement encore plus lointaine.

Par ailleurs, nous avons établi que cette espèce était plus nettement une hygrophile, au sens strict. Toutefois, même en établissant, par voie de drainage, un régime de nappes du type « *Poa chaixi* » — ce qui représenterait un effort très coûteux —, nos expérimentations ont montré que la régression de *Carex brizoides* ne serait que très lente.

La lutte chimique peut donc également être envisagée dans certains cas. Comme précédemment, il sera indispensable de prévoir le drainage simultané des zones traitées. Des essais vont prochainement être entrepris par le Laboratoire des Phytocides du C.N.R.F.

SUMMARY

SOIL-VEGETATION RELATIONSHIPS, UNDER HYDROMORPHIC CONDITIONS, IN A FOREST OF THE LORRAINE PLAINE

The chief object of this work is the study of soil-vegetation relationships under hydromorphic conditions. Contrary of most similar works, which are *static* studies, we particularly paid attention to the *dynamic* aspect of the question : the simultaneous evolution of soil and vegetation under the influence of human degradation. The applications of the main results to sylviculture are called up.

In a previous phyto-ecological inventory of the studied forest (AUSSENAC, BECKER, 1968), had been made evident a mean relation between vegetation and depth of appearing of the Bg horizon, which ought to reflect the degree of soil hydromorphy. Then we doubted that these Bg horizons were really "functional".

The present study is effected in five kinds of stands, variously damaged, and characterized by the five most important herbaceous species : *Molinia coerulea*, *Carex brizoides*, *Deschampsia coespitosa*, *Luzula albidula*, *Poa chaixii* (see table 1).

The water regime of the corresponding soils is particularly studied : water table (fig. 1) and moisture during summer (fig. 2). The figure 1 shows that, through the depth of Bg is everywhere the same (about — 30 cm) and its aspect very uniform, water table fluctuations are very different according to the kind of stand. Besides, the soils which are the most choked during winter, are still the moistest during summer drought.

A systematical study of the ecological factors which could be responsible for these differences, shows that the degree of damage of the forest is the primary reason (through the reduction of rainfall interception and of potential evapotranspiration). Secondly, the soil sinking decreases macro-porosity and increases the phenomenon. Drainage is practically the same in all the stands.

An accurate examination of the soils shows that, if the deep horizons are very comparable (glossic horizons or fragipans; a micromorphological study proves they are fossil), the superficial horizons, on the contrary, underwent different "actual" evolutions. Humus kind, structure, A_{2g} (or $A_{2(g)}$) colour, iron movement (see table 6) are the most interesting tests. The general name "sol lessivé à pseudogley", which was used till now in our study, is replaced, according to the different cases, by "sol brun acide sur fragipan", "pseudogley mésotrophe sur fragipan" and "pseudogley podzolique sur fragipan" (see fig. 3).

The results of the static study allow to reconstitute the dynamic aspect of the question, i.e. the degradation processes of forest and soils, and the worked up mechanisms; they are schemed in figure 4. The possibility of inverse evolution — of *regradation* — is debated.

A device of cultivation in half-controlled conditions is imagined in order to confirm experimentally the conclusions which are drawn about the autecology of the five herbaceous species. In this experimental part, "light" and "interspecific competition" also are studied (see fig. 6).

More strictly applied forest measurements are made. They allow to class the different kinds of stands according to technological wood quality (gravity test) and productivity. They also show the high superiority of Beech on Oak, in all the stands where it is present.

Measures are preconized in order to mend the forest : to forsake coppice with standards, which is chiefly ill-adapted to this kind of environment, and to convert it in a high forest; to stop all fellings in the most damaged areas, so as to aid their "regradation"; to drain the same areas, with chemical treatments against *Molinia coerulea* and *Carex brizoides*; to give priority to Beech, wherever it is present; to choose Sessile Oak rather than Pedunculate to be mixed with Beech; to keep Pedunculate Oak in the *Deschampsia coespitosa* stands.

ZUSAMMENFASSUNG

ZUSAMMENHÄNGE ZWISCHEN DEM BODEN UND DER VEGETATION, AUF HYDROMORPHE STANDORTE, IN DER LOTHRINGISCHEN EBENE

Das wesentliche Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Untersuchung der Zusammenhänge zwischen dem Boden und der Vegetation auf einem hydromorphen Standort. Im Gegensatz zu vielen ähnlichen Arbeiten die *statische* Untersuchungen sind, wurde der *dynamische* Aspekt d.h. die gleichzeitige Evolution von Boden und Vegetation durch den Einfluss der anthropogenen Degradation besonders berücksichtigt.

Die Untersuchung wurde in einem Eichen-Hainbuchenwald in den Vogesen durchgeführt. Fünf unterschiedlich degradierte Standorttypen, sind durch die Arten *Molinia coerulea*, *Carex brizoides*, *Deschampsia caespitosa*, *Luzula albida* und *Poa chaixii* gekennzeichnet.

Der Wasserhaushalt dieser Standorte wurde eingehend untersucht (Stauwasserschwankungen und pF-Werte) und der Einfluss verschiedener ökologischer Faktoren auf die beobachteten Unterschiede analysiert.

Das Problem der " funktionellen " oder " nicht funktionellen " Pseudogleyböden auf Fragiapan wird eingehend diskutiert, insbesondere die Frage der " aktuellen " Pedogenese der oberflächennahen Horizonte.

Eine Anzahl rein waldbaulicher Messungen und Beobachtungen wurden gleichfalls durchgeführt und die Bedeutung der Gesamtergebnisse für den praktischen Waldbau werden besprochen.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ANDERSON R. C., LOUCKS O. L., SWAIN A. M., 1969. Herbaceous response to canopy cover, light intensity and through fall precipitation in coniferous forests. *Ecology*, 50, 2, 255-263.
- AUSSENAC G., 1968. Interception des précipitations par le couvert forestier. *Ann. Sci. forest.*, 25, 3, 135-156.
- AUSSENAC G., BECKER M., 1968. Écologie d'un massif sur sols hydromorphes : la forêt de Charmes (Vosges). Contribution à la mise au point d'une méthode d'étude dynamique du milieu forestier. *Ann. Sci. forest.*, 25, 4, 291-332.
- AUSSENAC G., 1970. Aperçu du rôle de la forêt dans l'économie de l'eau. *Rev. forest. fr.*, 22, 6, 603-618.
- BARNER J., 1965. Experimentelle Ökologie des Kulturpflanzenanbaus. Paul Parey, Hamburg, 231 p.
- BARTOLI Ch., 1966. Études écologiques sur les associations forestières de la Haute-Maurienne. *Ann. Sci. forest.*, 33, 3, 3-321.
- BECKER M., 1969. Le Hêtre (*Fagus sylvatica* L.) et ses problèmes en forêt de Villers-Cotterets (Aisne). Contribution à la mise au point d'une méthode dynamique d'étude écologique du milieu forestier. *Ann. Sci. forest.*, 26, 2, 141-182.
- BECKER M., 1970. Ecologie et phytosociologie : sciences de base en recherches forestières. *Bull. Acad. Soc. lorr. Sci.*, 9, 1, 11-15.
- BONNEAU M., DUCHAUFOUR Ph., LE TACON F., N'GUYEN-KHA, 1967. Notes sur quelques sols développés sur substratum argileux. *Pédologie*, 17, 1, 106-118.
- BOUYOUCOS G. J., MICK A. H., 1940. An electrical resistance method for the continuous measurement of soil moisture under field conditions. *Mich. Agr. Exp. Sta. Tech. Bull.*, p. 172.
- BURGER H. Der Einfluss des Waldes auf den Stand der Gewässer. *Mitteilungen der schweizerischen Anstalt für das forstliche Versuchswesen*, 31, 1, 9-58.
- CLEMENTS, FREDERIC E., GOLDSMITH G. W., 1924. The phytometer method in ecology; the plant and community as instruments. *Carnegie Inst. Wash.*, publ. 356, 106 p.
- CONNINCK F. DE, RIGHI D., 1969. Aspects micromorphologiques de la podzolisation en forêt de Rambouillet. *Science du sol*, 2, 57-79.
- CRUIZIAT P., SECK M., 1970. L'abri A.M.P.S. Comparaison avec l'abri anglais. In *Techniques d'étude des facteurs physiques de la biosphère*. 479-482, I.N.R.A., Paris.
- DAUBENMIRE R., 1968. Soil moisture in relation to vegetation distribution in the mountains of Northern Idaho. *Ecology*, 49, 3.
- DENAYER DE SMET S., DUIGNEAUD P., 1970. Phytogéochimie de deux biotopes alluviaux du bassin de la Lesse ardennaise. *Bull. Inst. r. Sci. nat. Belg.*, 46, 14, 18 p.
- DROBIKOV A. A., 1969. Changes on the water regime of brown soils under the influence of fellings. *Pochvoved.*, 6, 54-62.
- DUCHAUFOUR Ph., 1948. Recherches écologiques sur la chênaie atlantique française. *Ann. E. N. E. F.*, 332 p.
- DUCHAUFOUR Ph., 1953. La dégradation de la structure des sols forestiers. *Rev. forest. franç.*, 10, 657-665.
- DUCHAUFOUR Ph., 1957. Tableaux descriptifs et analytiques des sols. *École nationale des Eaux et Forêts* Nancy, 85 p.
- DUCHAUFOUR Ph., 1960. Stations, types d'humus et groupements écologiques. *Rev. forest. franç.*, 7, 484-494.
- DUCHAUFOUR Ph., BONNEAU M., DEBAZAC E.-F., PARDE J., 1961. Types de forêt et aménagement : la forêt de la Contrôlerie en Argonne. *Ann. Ecole nat. Eaux et Forêts*, 18, 1, 1-44.
- DUCHAUFOUR Ph., BONNEAU M., LACAZE J.-F., 1961. Évolution du profil hydrique d'un sol forestier méditerranéen en fonction de différents modes de travail du sol. *Bull. A.F.E.S.*, n° spécial, 41-53.
- DUCHAUFOUR Ph., 1966. Le problème du climax et l'évolution des sols. *Oecol. Plant.*, 2, 1.

- DUCHAUFOR Ph., 1968. L'évolution des sols. Essai sur la dynamique des profils. Masson, Paris, 94 p.
- DUCHAUFOR Ph., 1970. Précis de Pédologie. 3^e édit. Masson, Paris, 481 p.
- DUCHAUFOR Ph., BECKER M., HETIER J.-M., LE TACON F., 1971. Note sur la pédogénèse des sols lessivés à pseudogley sur limons anciens des Basses-Vosges et de Lorraine. Colloque sur les Sols hydromorphes, Stuttgart, 6-10 septembre 1971, 8 p.
- DUVIGNEAUD P., 1946. La variabilité des associations végétales. *Bull. Soc. roy. Bot. Belg.*, 78, 107-134.
- DUVIGNEAUD P., DENAYER DE SMET S., 1970. Phytogéochimie des groupes écosociologiques forestiers de Haute Belgique. *Oecol. Plant.*, 5, 1-32.
- ELLENBERG H. *et al.*, 1967. Méthodes phytosociologiques et pédologiques pour la cartographie des stations forestières. Résultats d'une comparaison internationale sur le Plateau suisse. *Veröffentl. geobotan. Inst. E.T.H.*, 39, 296 p.
- FEDOROFF N., 1967. Un exemple d'application de la micromorphologie à l'étude des paléosols. *Bull. Assoc. fr. Étude Quatern.*, 3, 193-209.
- GAUSSEN H., 1949. Utilisation des plantes sociales pour établir les conditions du milieu. *C.R. Sc. Acad. Agric. Fr.*, Paris, 12, 547-8.
- GELY J. Mesure électrique de l'humidité des sols et contrôle des irrigations. Note ronéotée, 22 p.
- GOUNOT M., 1969. Méthodes d'étude quantitative de la végétation. Masson, Paris, 314 p.
- GREIG-SMITH P., 1964. Quantitative plant ecology. Butterworths, London, 256 p.
- GUINIER Ph., 1959. Le milieu édaphique et la composition floristique des forêts. *Soc. Bot. Fr.*, 1^{er} colloque, Paris, 114-120.
- GUINOCHET M., 1955. Logique et dynamique du peuplement végétal. Masson, Paris, 143 p.
- HENIN S. *et al.*, 1960. Le profil cultural. Principes de physique du sol. Soc. d'Éditions des Ingénieurs agricoles, Paris, 320 p.
- HÉTIER J.-M., LAPA M., LE TACON F., 1970. Étude micromorphologique de quelques sols de l'Est de la France. Colloque de micromorphologie des sols, Grignon, non paru.
- HOLSTENER-JORGENSEN H., 1968. Preliminary results of a drainage experiment in 90-year Beech on moraine clay with a high water-table. *Forstl. Forsogsv. Danm.*, 31, 1-11.
- HUNGER W. Über Wachstumsgang und Ernährungszustand älterer Fichtenreinbestände auf Pseudogley-Standorten des sächsischen Hügellandes. *Archiv. für Forstwesen*, 7, p. 699.
- JACQUES-FÉLIX H., 1959. Rapport du sol et de la végétation. Introduction. *Soc. Bot. Fr.*, 1^{er} colloque, Paris, 1-10.
- JAKOVLJEVIC M. *et al.*, 1967. Soil moisture investigations on pseudogley. *Zemlj. Boljka*, A, 16, 1/3, 455-462.
- JAMAGNE M., FEDOROFF N., 1969. Comparaison micromorphologique de quelques sols sur limon du Bassin parisien. *Mém. h. Soc. Géol. de France*, 5, 73-79.
- KERSHAW K.A., 1964. Quantitative and dynamic ecology. Edward Arnold, London, 183 p.
- KNAPP Dr. Experimentelle Soziologie der höheren Pflanzen. Eugen Ulmer, Stuttgart, 200 p.
- KNIGHT C. B., 1965. Basic concepts of Ecology. Macmillan Company, New York, 468 p.
- KOVDA V. A., 1969. Les sols actuels n'ont-ils réellement pas une histoire? *Pocvovedenie*, 6, 122-134.
- LACHAUSSÉE E., 1950. Les sols sous la dominance de l'eau et de la forêt. *Rev. forest. franç.*, 5, 243-273.
- LAFOUGE R., 1964. Le taillis-sous-futaie et ses problèmes. Améliorations et transformations. Document E.N.E.F., non publié, 51 p.
- LEMÉE G., GUINOCHET M., 1950. Contribution à la connaissance des races biologiques de *Molinia caerulea* (L.) Mönch., *Rev. gén. Bot.*, 680, 565-593.
- LEMÉE G., 1954. Pédologie et Phytosociologie. VIII^e Congr. Inst. Bot., Paris, rapport comm. sect. 7 et 8, 33-38.
- LEMÉE G., 1967. Précis de Biogéographie. Masson, Paris, 358 p.
- LE TACON F., 1966. Contribution à l'étude des sols d'un massif forestier des Basses-Vosges. *Thèse*, Nancy, 121 p.
- LE TACON F., 1969. Aperçu sur l'importance des limons en Lorraine et sur leur rôle dans l'évolution des sols. Document C.N.R.F., 10 p.
- LÉVY G., 1969. Premiers résultats d'étude comparée de la nappe temporaire des pseudogleys sous résineux et sous feuillus. *Ann. Sci. forest.*, 26, 1, 65-79.
- McKEE W.H., Jr, SHOULDERS E., 1970. Depth of water table and redox potential of soil affect Slash Pine growth. *For. Sci.*, 16, 4, 399-402.
- MINORE Don, 1969. Yellow schunk-cabbage (*Lysichitum americanum*). An indicator of water-table depth. *Ecology*, 50, 4, 737-739.
- MOOSMAYER H., 1960. Standort, Waldgesellschaft und Ertragsleistung. *Allg. Forstzeitschr.*, 15, 43, 613-6.

- MUCKENHAUSEN E., 1962. Entstehung, Eigenschaften und Systematik der Böden der Bundesrepublik Deutschland. D.L.G. Verlags G.M.B.H., Frankfurt, 148 p.
- N'GUYEN KHA, DUCHAUFOR Ph., 1969. Note sur l'état du fer dans les sols hydromorphes. *Science du sol*, 1, 97-110.
- OBMINSKI Z., 1960. Study of water-table fluctuations in some biotopes of the Bialowieza National Park. *Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa*, 201, 162 p.
- PEJOVIC B., 1967. Study on water-physical features of some pseudogley soils of Slavonia and methods for the control of their water regime. *Zemlj. Biljka*, A, 16, 1/3, 429-437.
- PERRIN H., 1939. Sur l'accroissement des Chênes de taillis-sous-futaie. *Rev. Eaux et Forêts*, avril, 293-305.
- PERRIN H., 1946. Études statistiques sur les taillis-sous-futaie. *Ann. E.N.E.F.*, 10, 1, 1-102.
- PICARD J.-F., 1970. Les forêts sur Rhétien dans le département des Vosges. Nouvelle contribution à la mise au point d'une méthode dynamique d'étude phyto-écologique du milieu forestier. *Thèse 3^e cycle*, Nancy, 74 p.
- POLGE H., KELLER R., 1970. Première appréciation de la qualité du bois en forêt par utilisation d'un tor-siomètre. *Ann. Sci. forest.*, 27, 2, 197-223.
- PLAISANCE G., 1950. La chasse au Hêtre dans le passé. *Rev. forest. fr.*, 9, 458-461.
- PLAISANCE G., 1965. Les sols à marbrures de la forêt de Chaix. *Ann. Sci. forest.*, 22, 4, 437-680.
- REINBERG U., 1969. Tree diameter growth on wetmineral soils immediately after drainage. *Loodusuur. Seltsi Aastar.*, Tallin, 59, 122-134.
- SEGALEN P., 1964. Le fer dans les sols. O.R.S.T.O.M., Paris.
- SIMS H. P., MUELLER-DOMBOIS D., 1968. Effect of grass competition and depth of watertable on height of coniferous tree seedlings. *Ecology*, 49, 4, 597-603.
- SPURR S. H., 1964. Forest Ecology. Ronald, New York, 352 p.
- STACHAK A., 1969. Water-table fluctuations in soils of the *Mercuriali-fagetum* association in the Glinna and Kolowo forest districts. *Roczn. Glebozn.*, 20, 1, 217-229.
- STEBUNG L., 1965. Pflanzenökologisches Praktikum. Methoden und Geräte zur Bestimmung wichtiger Standortsfaktoren. Paul Parey, Berlin, 262 p.
- STREBEL O., 1970. Water movements in pseudogley on slopes under grassland and forest. *Z. Pfl. Ernähr. Boden.*, 17, 1, 31-40.
- TANASESCU N., 1939. Contribution à l'étude botanique et forestière des taillis-sous-futaie. Nancy, 211 p.
- TIMBAL J., 1967. Les associations forestières du Bassin parisien. *Rapport D.E.A.*, Orsay, 81 p.
- TIMBAL J., 1968. Contribution à l'étude des associations forestières de la forêt de Sainte-Hélène (Vosges). *Thèse 3^e cycle*, Orsay, 104 p.
- TOUTAIN F., 1965. Étude du sol et de la forêt de Fougères (Ile-et-Vilaine). *Thèse de 3^e cycle, Université de Paris*, 192 p.
- TUXEN R., 1969. Bibliographie der Arbeiten über pflanzensoziologisch bestimmte Wasserstufen und Wasserstufen-Karten. *Excerpta Botanica*, B, 10, 1, 93-96.
- VENEMA H. J. et al., 1970. The synthetic character of vegetation study. *Landbouwhogeschool, Wageningen, Misc. Papers*, 5, 163 p.
- VENET J., 1962. Tournées relatives au Chêne (Chêne rouvre et Chêne pédonculé). *Document E.N.E.F.*, Nancy.
- VENET J., 1968. La Lorraine. *Cours Géographie forestière*, E.N.G.R.E.F., Nancy, 91 p.
- VEHINIC M. et al., 1967. Correlation of the water physical properties in pseudogley in the area of Tuzla (North Bosnia). *Zemlj. Biljka*, A, 16, 1/3, 439-446.
- WEST N. E., IBRAHIM K. I., 1968. Soil-vegetation relationships in the Shadscale zone of southeastern Utah. *Ecology*, 49, 3, 445-456.

